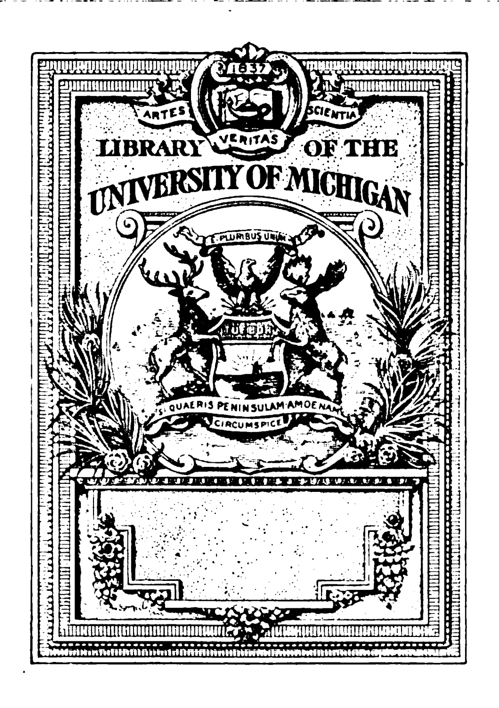
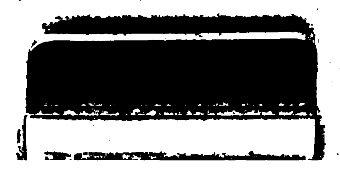

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Strassburg; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** München; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Giessen; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Innsbruck; **R. Magnus,** Utrecht; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Rostock; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Göttingen; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenck,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Freiburg i. B.; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

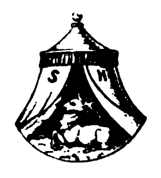
Robert Tigerstedt

Erster Band

Allgemeine Methodik; Protisten, Wirbellose Tiere, physikalische Chemie; Stoff- und Energiewechsel

---

Mit 314 Figuren im Text und 1 Tafel



Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1911

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Dieses Blatt ist beim Einbinden des vollständigen Bandes zu entfernen.

1. Abteilung:

Allgemeine Methodik I

I.

Allgemeine Technik der physiologischen Versuche und Vivisektionen

von

J. Pawlow in St. Petersburg.

(Mit 25 Figuren.)

I. Allgemeines über die physiologischen Operationen.

Um die Funktion und die Bedeutung dieses oder jenen Teils für den ganzen Organismus zu bestimmen, ist man nicht selten gezwungen, den betreffenden Teil zu zerstören oder aus dem Tier zu entfernen. Aus den danach erscheinenden Abweichungen vom normalen Verhalten lassen sich Schlüsse ziehen über die Rolle und über die Bedeutung des beseitigten Organs. Das Zerstören oder Entfernen von Organen, welches das Klarwerden über ihre Funktion im Auge hat, ist ein ganz gewöhnliches physiologisches Verfahren. Dank ihm hat sich die Physiologie in der Vergangenheit um viele wertvolle Tatsachen bereichert und sie hat allen Grund, es auch in der Zukunft mit großem Vorteil anzuwenden.

Aber um zu gewissen Schlüssen zu berechtigen, muß diese Operation durch die sogenannten Kontrollversuche ergänzt werden. In den physiologischen Versuchen hat es der Forscher mit einer solchen Verkettung von verschiedenartigen unbestimmten Momenten zu tun, daß das Resultat des Versuchs nicht als ganz und unmittelbar auf die Sache bezüglich betrachtet werden kann. Wenn ein Organ vernichtet oder ausgeschnitten wird, so werden dabei viele andere Organe geschädigt, es bilden sich für diese letzteren neue Umstände (die Ausschaltung des gegebenen Organs nicht mit eingerechnet), so daß die Abweichungen, welche nach der Exstirpation beobachtet werden, die Folge der genannten Umstände sein können und nicht der Entfernung des Organs. Daher müssen die möglichen Nebenwirkungen, welche beim Entfernen eines Organs stattfinden, vorher bedacht werden und jede von ihnen muß in einem speziellen Versuche erprobt werden. Wie furchtbar schwer es aber oft ist, sich über diese Einflüsse bewußt klar zu werden, zeigen uns die nicht selten vorkommenden Fälle, wo zwei genaue Forscher, wenn sie ein und denselben Versuch wiederholen, selbst wenn sie sich gegenseitig durch Briefwechsel zu helfen suchen, doch zu verschiedenen Resultaten gelangen. Und nur wenn der Versuch in Gegenwart des anderen wieder

vorgenommen wird, läßt sich endlich irgendeine Einzelheit entdecken, welche die Ursache des Widerspruchs war. Angesichts dessen wird zuweilen die Form des, so zu sagen, en gros-Ausschließens aller Nebenwirkungen vorgezogen. Dieses wird dadurch erreicht, daß man an einem anderen Tier nach Möglichkeit bis zu den kleinsten Einzelheiten dasselbe vornimmt mit Ausnahme der Entfernung des Organs. So ein Kontrollversuch ist eine charakteristische Sondereigenschaft des physiologischen Forschens. Wenn der Physiker alle Momente, welche sich an der gegebenen Erscheinung beteiligen, aufzählen und auch quantitativ den Grad ihrer Beteiligung in der hervorgerufenen Gesamterscheinung bestimmen kann, so ist der Physiologe kaum jemals in einer so günstigen Lage und greift, ob er will oder nicht, zur Hilfe des Kontrollversuchs.

Der Umstand, daß das physiologische Experimentieren so höchst kompliziert ist, verpflichtet den Forscher, nicht auf dem nach der ersten Methode erhaltenen Resultate stehen zu bleiben, sondern weiter zu gehen und wenn möglich, die umgekehrte Sachlage durch verstärkte Reizung des gegebenen Organs, des gegebenen Teils, zu erhalten. Wenn diejenigen Funktionen, welche mit der Entfernung eines Organs verschwunden sind, sich an einem anderen Tier bei Reizung dieses Organs mit größerer Intensität und in größeren Dimensionen äußern, so bekommt die Folgerung über die Rolle dieses Organs desto größere Überzeugungskraft.

Natürlich beschränkt sich die Untersuchung in denjenigen Fällen, in welchen sich Hindernisse anatomischen oder physiologischen Charakters bieten, entweder aufs eine oder aufs andere Verfahren.

Die weitere beinahe unendliche physiologische Aufgabe ist es, die physiologische Erscheinung zu erforschen, ihren Zusammenhang, ihren Verlauf und ihre Abhängigkeit von irgendwelchen äußeren oder inneren, im Körper entstehenden Bedingungen festzustellen und schließlich als Ideal alles auf physikalisch-chemische Kräfte zurückzuführen. Zum Lösen dieser Aufgabe ist beinahe immer das Operieren am lebendigen Tier erforderlich und das hauptsächlich aus zwei Gründen. Erstens um diejenige Erscheinung, welche beobachtet wird, der Beobachtung, der Messung und dem Versuch zugänglich zu machen, sei es mit Hilfe verschiedenartiger Instrumente oder ohne diese. Zweitens mit der Absicht, das gegebene Organ vor der Einwirkung anderer Organe zu behüten, anders könnten sich in der Erscheinung, welche erforscht wird, noch andere Einflüsse erweisen, außer denjenigen, welche wir im gegebenen Moment wissentlich zulassen.

Die Verfahren beim Operieren sind sehr vielgestaltig und können nur zum Teil systematisiert werden. Dieses ist vorzugsweise der Kampfplatz der Beobachtungs- und Erfindungsgabe der einzelnen Autoren. Auf diesem Gebiet wurde stets und wird noch jetzt die größte Zahl der Fehler begangen, aber auf diesem Punkt wurden auch ganz besonders glänzende Siege davongetragen.

In erster Reihe kommen natürlich die Vorsichtsmaßregeln gegen die Einmischung psychischer Prozesse. Diese Einmischung wird durch die Exstirpation der Großhirnhemisphären und auch durch das Durchschneiden des zentralen Nervensystems über oder unter dem verlängerten Mark beseitigt. Im letzteren Falle wird aber die Wirkung psychischer Prozesse auf die

physiologischen Erscheinungen des Kopfes nicht ausgeschlossen. Alle diese Operationen garantieren den Forscher vor der noch nicht analysierbaren Einmischung der Tätigkeit des Bewußtseins und des Willens vom Tiere, und bringen Bequemlichkeiten für das weitere Operieren mit sich (Abwesenheit von Geschrei, Protestbewegungen von seiten des Tiers usw.).

Dasselbe erreicht man durch die Anwendung verschiedentlicher Narkotika, wenn ihre physiologische Allgemeinwirkung dem speziellen Ziel des Versuchs nicht widerspricht.

Im einzelnen garantiert man sich vor den Bewegungen des Tiers als vor einer Tätigkeit, welche einen vielseitigen Einfluß auf verschiedene Funktionen haben kann (bald auf mechanischem, unmittelbarem Wege, bald auf reflektorischem Wege längs den sensiblen Fasern des Bewegungsapparates) durch die Anwendung des Gifts Kurare, welches die peripheren Enden der motorischen Nerven paralysiert.

In beiden Fällen, sowohl beim Durchschneiden des Rückenmarks unter dem verlängerten Mark als auch beim Kurarisieren, erhält man den besonderen Vorteil, daß der selbständige Atemprozeß ausgeschlossen wird; die Veränderungen desselben können nämlich wichtige Erscheinungen im Gesamtorganismus hervorrufen; der natürliche Prozeß des Atmens wird dabei durch das einförmige künstliche Atmen ersetzt.

Da das Nerven- und das Gefäßsystem allgemeine Systeme des ganzen Körpers sind, so ist es verständlich, daß oft die Notwendigkeit entsteht, die Verbindung des zu untersuchenden Organs mit diesen oder jenen Organen oder mit dem ganzen Organismus im Bereich eines oder des anderen Systems oder beider zugleich zu unterbrechen. Was das Nervensystem anbetrifft, so sind die verschiedenartigsten Durchschneidungen sowohl verschiedener Abteilungen des zentralen Nervensystems als auch der peripheren Nerven gebräuchlich. Aus anatomischen Gründen erweist sich die Aufgabe oft als sehr schwierig. So z. B. verlaufen die Nerven oft nicht in gesonderten, leicht erreichbaren Stämmchen, sondern in den Wänden von Blutgefäßen oder in der Masse von Organen, und zwar solchen Organen, in denen sie nicht präpariert werden können, und nur durch das Durchschneiden der Gefäße oder der Organe kann das Ziel, welches man sich gesetzt hat, die Nervenisolierung, erreicht werden.

Das Isolieren von seiten der Blutzirkulation wird dadurch bewerkstelligt, daß man entweder bald zeitweise, bald für immer die natürliche Blutzirkulation aufhebt oder sie durch eine künstliche ersetzt, und auch dadurch, daß man einen bestimmten Blutstrom in ein anderes Bett ableitet.

Der höchste Ausdruck der analytischen Tendenz, ein jedes Organ außerhalb des Einflusses anderer Organe zu untersuchen, ist die Methode des völligen Entfernens des Organs aus dem Organismus und das Schaffen von Bedingungen, welche dessen Leben fördern. Angesichts der besonderen Wichtigkeit dieser Versuchsform und der großen Ausbreitung, welche sie in der letzten Zeit erhalten hat, wird ihr in diesem Buch ein besonderer Artikel von einem anderen Verfasser gewidmet.

Alle oben angeführten Vivisektionsformen, mit Ausnahme einiger Fälle von Exstirpation von Organen und vom Anlegen einiger Fisteln, bilden den sog. akuten Versuch, d. h. sie betreffen das eben operierte Tier. Aber der

akute Versuch, welcher uns eine Menge physiologischer Kenntnisse ergeben hat und, man kann sagen, täglich ergibt, ist mit vielen bedeutenden Schwierigkeiten verbunden und birgt sogar oft ernste Gefahren in sich. Jegliches Operieren, jedes Vergiften, welche zu Anfang mit dem Tier vorgenommen werden, ist der Grund einer mehr oder weniger starken Verunstaltung oder Abschwächung dieser oder jener Funktionen des Körpers. Natürlich hat man das meistenteils im Auge und im einzelnen wird das vorbereitende Verfahren (Narkose, Kurare oder verschiedene Durchschneidungen des zentralen Nervensystems) je nach der speziellen Aufgabe des Versuchs variiert. Aber oft wird der schädliche Einfluß des Operierens zu einem ernsten, schwer zu beseitigenden Übel, und was besonders wichtig ist, zu einem Übel, dessen man sich trotz aller Aufmerksamkeit nicht bewußt wird.

Als altes Beispiel des schädlichen Einflusses vom Operieren dient die schwache Erregbarkeit des unteren Abschnittes vom Rückenmark direkt nach dessen Durchschneidung auf verschiedenen Höhen, sogar beim Frosch. Man muß einige Zeit abwarten: beim Frosch Minuten, bei Säugetieren Stunden, Tage, ja sogar, wie Goltz es zuläßt, ganze Wochen, damit sich diejenigen Funktionen, als deren Sitz aber zweifellos das Rückenmark angesehen werden muß, äußern.

Als neuerer Beweis für die äußerst schädliche Wirkung des anfänglichen Operierens auf den Verlauf des Versuchs kann die Frage über die Innervation der Magendrüsen dienen. Zahlreiche Versuche an eben operierten Tieren brachten viele und kompetente Forscher zu einem negativen Resultat; es wurde mit Bestimmtheit behauptet, daß die von außen an den Magen herankommenden Nerven nicht den geringsten Einfluß auf die Sekretion der Magendrüsen besitzen. Aber unter anderen Umständen zeigte sich die Sache in einem ganz anderen Lichte. Wenn ein Tier zum endgültigen Versuch teils einige Wochen, teils einige Tage vorher vorbereitet wird, so daß am Versuchstage keine neue Operation vorgenommen wird, so ruft die Reizung des peripheren Endes des Vagus Magensaftsekretion hervor, ebenso wie die Reizung der Chorda tympani Speichelsekretion hervorruft.

Was den Mechanismus dessen anbetrifft, wie die Organe in ihrer Tätigkeit geschädigt werden, so ist er, abgesehen vom Vergiften, noch lange nicht klar gelegt, und deshalb gewinnt diese Seite des akuten Versuchs desto größere Wichtigkeit. Vor allem erweist es sich, daß zweifellos der schädliche Einfluß der Operation in vielen Fällen nicht mit dem unmittelbaren Traumatisieren des gegebenen Organs verbunden ist, so daß der Einfluß der Operation ein fernwirkender Einfluß ist. In diesen Fällen griff man, besonders in früheren Zeiten, oft zum unbestimmten Worte Shock. Zur gegenwärtigen Zeit entwickelt sich eine mehr konkrete Vorstellung über diese Erscheinung. Die Erscheinung, welche uns beschäftigt, wird als Hemmungserscheinung betrachtet und somit in eine Reihe mit bestimmten physiologischen Erscheinungen gestellt. Und man kann nicht daran zweifeln, daß in vielen Fällen guter Grund zu so einer Ansicht vorhanden ist. In der jetzigen Physiologie gibt es so viele Beispiele dafür, daß die Tätigkeit der Organe von zweien, ihrer Funktion nach entgegengesetzten Nerven, einem erregenden und einem hemmenden, aufhaltenden Nerven geregelt wird. Hieraus ist es ersichtlich, daß nichts Merkwürdiges darin ist, wenn man

voraussetzt, daß verschiedene hemmende Nerven aufs Operieren als auf einen komplizierten mechanischen und chemischen Reiz, bald direkt, bald reflektorisch reagieren.

Es gibt direkte Tatsachen, welche beweisen, daß die hemmenden Nerven für mechanische Reize besonders empfindlich sind. So können mit Hilfe des mechanischen Reizes vasodilatorische Fasern in Nerven, wo sie mit ihren Antagonisten den Vasokonstriktoren vermischt sind, leicht nachgewiesen werden. Es ist nicht unmöglich, daß bei großen Läsionen, d. h. wenn die Verhältnisse lebensgefährlich werden, der Organismus gleichsam mit Vorbedacht die Tätigkeit vieler anderer Organe bremst, sei es mit der Absicht, sich auf der Verteidigung des bedrohten Punktes zu konzentrieren, sei es, um im Ruhestande dem Verderben der Organe unter unnormalen und schwierigen Verhältnissen vorzubeugen.

Ein anderer Umstand, von dem man mit Recht sagen kann, daß er bei der schädlichen Wirkung des Operierens mitwirkt, ist die Störung der Blutzirkulation der Organe. Diese kann am Totalorganismus mit Leichtigkeit par distance auf reflektorische Weise vor sich gehen; daß bei sensiblem Reize eine Anämie gewisser Organe eintritt, ist ein allbekanntes Faktum. Andererseits gibt es Versuche, die da zeigen, was für ein starkes pathologisches Moment für einige Organe sogar eine kurzdauernde Anämie ist.

Es ist verständlich, daß die Wirkung der Operation beim Isolieren lebendiger Organe um so mehr hervortritt, da hier grobes Traumatisieren stattfinden kann und die Blutzirkulation, wenn auch für kurze Zeit, ganz aufhört.

Schließlich muß die Kritik des akuten Versuchs folgenden sehr wichtigen Umstand im Auge haben. Der akute Versuch kann mit diesen oder jenen Vorsichtsmaßregeln meist bequem den Zielen der physiologischen Analyse, d. h. der allgemeinen Aufklärung über die Funktionen des gegebenen Teils des Organismus und über deren Bedingungen dienen. Aber wann, wie und in welchem Maße sich die Tätigkeit der einzelnen Teile im normalen Gange der lebenden Maschine verketten — und dieses bildet den Inhalt der physiologischen Synthese — das ist schon oft schwer oder geradezu unmöglich aus den Angaben des akuten Versuchs abzuleiten, denn die Versuchsanordnung (die Narkose, das Kurarisieren und verschiedenartiges Operieren) ist unumgänglich mit einer gewissen Verletzung des normalen Verlaufs der Vorgänge im Organismus verbunden.

Auf diese Art ist es, um tadellose analytische Angaben zu erhalten, in vielen Fällen, für synthetische beinahe immer, nötig von einem im gegebenen Augenblick möglichst normalen Organismus auszugehen. Und dieses ist nur in dem Falle zu erreichen, wenn das Tier durch vorhergegangene Operationen gewissen Beobachtungen und Versuchen zugänglich gemacht wird. Hier öffnet sich dem chirurgischen Scharfsinn ein weites Feld — durch eine Reihe von Operationen, welche durch Tage und Wochen voneinander getrennt sind, soll ein Tier präpariert werden, an welchem zum Schluß eine gewisse Frage bei minimalem frischem Lädieren oder ganz ohne dieses entschieden werden kann.

Hierher gehören verschiedenartige Zerstörungen verschiedener Teile des zentralen Nervensystems, Durchschneidungen peripherer Nerven, Exstirpationen

von Organen, verschiedene Verfahren, um Sekrete nach außen zu leiten, usw. Die Beobachtungen und Versuche werden in allen diesen Fällen erst dann vorgenommen, wenn sich die zufälligen und indirekten Folgen des Operierens schon ausgeglichen haben. Die chronischen Versuche werden nicht nur mit der Absicht vorgenommen, um sich des schädlichen Einflusses des frischen Operierens zu entledigen, sondern haben in vielen Fällen zur Aufgabe, diejenigen Folgen aufzuklären, welche sich im Lauf der Zeit, nach irgendeinem operativen Einfluß entwickeln, oder die Wirkung irgendeines oft wiederholt oder andauernd wirkenden Agens zu untersuchen. Solche Versuche gehen sowohl von Physiologen, Pathologen und Pharmakologen als auch von professionellen Chirurgen aus. Letztere untersuchen, was hinsichtlich des Operierens überhaupt erfüllbar ist, was für Gefahren und Komplikationen sie zu fürchten haben.

Natürlich können viele chronische Versuche an Tieren ohne die geringste Läsion von statten gehen, so z. B. die Versuche über den Gas- und Stickstoffwechsel, viele pharmakologische und verschiedene andere Versuche.

Man verwendet zum Operieren sehr verschiedenartige Tiere. Nur in einem Teil der Versuche bestimmt es der Zufall: was da ist, was bequem bekommen wird, was billig ist, das wird auch vorgezogen. Der Gebrauch verschiedenartiger Tiere und die Wahl zwischen ihnen haben meistenteils ihre ernsten Gründe. Erstens wird natürlich vieles durch die anatomische Seite der Sache bestimmt. Es wird das gewählt, was seinem Umfang nach passend ist; so z. B. werden zu Versuchen mit dem Einstellen von Kanülen in verschiedene Gefäße und Ausführungsgänge der Drüsen größere Tiere genommen — Kaninchen, Hunde.

Außer den Dimensionen haben Eigenheiten der anatomischen Einrichtung, welche bei einer Tierart eine gewisse Operation zulassen und sie bei einer anderen Tierart ungemein erschweren oder sogar ganz ausschließen, einen wesentlichen Einfluß auf die Wahl. Oft erweisen sich diese anatomischen Variationen als ein glücklicher Fund, der zu wichtigen Entdeckungen führt. Der Nervus depressor der Kaninchen, eines der wichtigsten Elemente der Innervation des Blutzirkulationssystems, kann hierfür als gutes Beispiel dienen.

Verschiedene Fragen über die Selbständigkeit einer oder der anderen Funktion, besonders im Bereiche des Nervensystems, welche mit Hilfe andersartigen Verfahrens nur mit einer größeren oder geringeren Wahrscheinlichkeit gelöst werden können, hören erst dann auf Fragen zu sein, wenn komplizierte Funktion bei irgendeiner Art sich als, so zu sagen anatomisch zerstückelt, isoliert erweist.

Aber die Auswahl der Tiere fürs gegebene Experiment wird nicht weniger, wenn nicht noch mehr, durch die physiologischen Eigenheiten der gegebenen Tierart bestimmt. In dieser Hinsicht unterscheiden sich die kaltblütigen Tiere besonders stark von den warmblütigen. Genaue und systematische Untersuchungen der allgemeinen Eigenschaften der Nerven, der quergestreiften Muskeln und des Herzens konnten hauptsächlich an Fröschen, deren Gewebe sich durch höchste Lebensfähigkeit auszeichnen, vorgenommen werden. Überhaupt wird im Tierreiche eine äußerste Verschiedenartigkeit im Verhalten des Organismus zu verschiedenen Operations-

verfahren (verschiedenartige Läsionen, Exstirpationen von Organen) zu verschiedenen physikalischen und chemischen Agentien und schließlich zu den Mikroorganismen bemerkt. Es kommt vor, daß sich sogar Arten derselben Gattung im gesagten Sinne unterscheiden, so z. B. die Rana esculenta und die Rana temporaria. Bei solch einer Sachlage ist es verständlich, daß die Untersuchung am häufigsten an solchen Tieren vorgenommen wird, an denen ein positives Resultat erhalten werden kann.

Aber auch das Untersuchen der Tiere, die sich negativ verhalten, ist oft von höchstem Nutzen, da es die Bedingungen der gegebenen physiologischen Erscheinung vollständiger aufklärt und folglich zum gründlicheren Verständnis dieser Erscheinung beiträgt.

Nach allem Gesagten wird es verständlich, daß die Pharmakologie als der Teil der Physiologie, welcher das Verhalten des tierischen Organismus zu verschiedenen chemischen Agentien erforscht, sich nicht mit einer irgendwelcher Tierart begnügt, sondern sich gewöhnlich zur Regel macht, ein und denselben Stoff an einer ganzen Reihe von Tieren zu untersuchen.

Es ist unmöglich, der psychischen Eigenschaften der Tiere nicht zu erwähnen. Es muß mit Schmerz anerkannt werden, daß das beste Haustier des Menschen, der Hund, gerade dank seiner hohen geistigen Entwicklung am öftesten das Opfer des physiologischen Experiments ist. Nur durch die Not wird man dazu bewogen, an Katzen — an ungeduldigen, schreienden, bösen Tieren, Versuche zu machen. Bei chronischen Versuchen, wenn das operierte Tier, nachdem es sich von der Operation erholt hat, zu langdauernden Beobachtungen dient, ist der Hund unersetzlich — sogar mehr, er ist im höchsten Grade rührend. Er ist gleichsam ein Teilnehmer der Versuche, die an ihm vollzogen werden, und trägt durch seine Verständigkeit und Bereitwilligkeit ungemein viel zum Erfolg der Untersuchung bei. Nur ein grausamer Mensch könnte so ein Tier später zu einem anderen Versuch, der mit Schmerzen und mit dem Tode verbunden ist, verwenden.

Das häufigste Versuchstier nach dem Hunde ist das Kaninchen — ein sanftes passives Tier, welches nur selten schreit und protestiert.

Aus diesen Gründen muß man es als einen sehr großen Fortschritt betrachten, daß die Zahl verschiedener Arten Tiere, welche zu physiologischen Experimenten benutzt werden, in der letzten Zeit beständig und in großem Maße zunimmt, insbesondere Dank den Arbeiten in den wissenschaftlichen maritimen Stationen.

Beim Benutzen der Tiere ist es notwendig, außer auf die Art des Tieres noch auf verschiedene Momente im Leben der einzelnen Exemplare acht zu geben: aufs Alter, auf die Jahreszeit, auf satten oder hungrigen Zustand, auf die Schwangerschaft usw. So ist es festgestellt, daß bei Neugeborenen in den ersten Tagen des extrauterinen Lebens viele zentrifugale Hemmungsnerven ganz unentwickelt sind. Hunde überstehen schlecht schwere Operationen, wenn sie in strengen Wintern, wie die russischen Winter es sind, bis kurz vor der Operation auf dem Hof bleiben usw.

Angesichts alles oben Gesagten werden folgende Regeln, welche jeder, der Versuche an Tieren macht, beobachten muß, leicht verständlich sein.

Es ist nötig, stets aufs sorgfältigste in jedem Versuch die geringsten Versuchsbedingungen zu bemerken. Es kann vorkommen, daß sogar irgend-

eine beiläufige, rein äußerliche Bedingung sich für das Grundresultat des gegebenen Versuchs als ausschlaggebend erweist.

Beim physiologischen Forschen kann man sich, allgemein gesagt, nicht mit einer geringen Anzahl von Versuchen begnügen. Wie oft ändert sich das Resultat des Versuchs schroff von einem Versuch zum andern, bis der Untersucher des Gegenstands, d. h. aller Bedingungen der gegebenen Erscheinung habhaft wird. Große Enttäuschungen erwarten den unerfahrenen Experimentator, wenn er irgendwas kategorisch auf Grund einer oder zweier Versuche behaupten wird. Andererseits werden sogar alte Experimentatoren durchs Nichtgelingen eines augenscheinlich unumgänglichen Resultats nicht selten zur Verzweiflung gebracht — und dieses kommt von der Einmischung der geringsten Bedingungen. Und die Überzeugung von der Macht dieser geringsten Versuchsbedingungen macht es, daß viele Autoren nicht mit einem Worte derjenigen ihrer Arbeiten erwähnen, in denen sie zu negativen Resultaten gekommen sind. Die Summe derjenigen Bedingungen, welche das physiologische Resultat bestimmen, ist oft unbestimmt und so groß, daß nur lange Reihen von Versuchen eine genügende Garantie für den steten Zusammenhang zwischen den untersuchten Erscheinungen bieten.

Aber noch mehr als das Wiederholen ein und desselben Versuchs dient das Variieren des Versuchs, die Veränderung der Versuchsform zur Feststellung des wahren Zusammenhangs zwischen den Erscheinungen. Nur wenn man zwei Erscheinungen unter verschiedenen Umständen produziert hat, kann man schließlich die Überzeugung gewinnen, daß diese Erscheinungen wirklich in kausalem Zusammenhang stehen und nicht von beiläufigen, zufällig eine Versuchsanordnung begleitenden Umständen, abhängen.

Die drei angeführten Regeln bilden eine charakteristische Eigenschaft des physiologischen Forschens und unterscheiden es wesentlich vom physikalischen Forschen. Daß das rein physikalische Experimentieren nach rein physikalischen Methoden in der Physiologie nicht selten mißlingt, ist in der Geschichte der Physiologie kein seltener Fall.

Was die genauere Technik des Operierens an lebenden Tieren anbetrifft, so teilen sich natürlich alle Operationen in dieser Hinsicht in zwei Gruppen: die Operationen ex tempore, wo das Tier sofort nach der Operation zum Versuche und zu den Beobachtungen dient, und Operationen, in denen sich das Tier vor allem von den verschiedenen Folgen der Verwundung vollkommen erholen muß und erst Tage, Wochen oder sogar Monate danach das Objekt einer Untersuchung sein kann. Für die ersten behalte ich den Namen „Vivisektionen“ bei und die zweite werde ich „chirurgische Operationen“ nennen. Diese Einteilung der Operationen wird durch den wesentlichen Unterschied in den Einrichtungen und in den Vorbereitungen, welche jede von diesen Operationsgruppen verlangt, vollkommen gerechtfertigt.

II. Vivisektionen.

Die Vivisektion, als ältere Operationsmethode muß, wenn man aus ihr die Methode der völligen Isolation von Organen ausschließt, als eine mehr oder weniger fertig ausgearbeitete, vollkommene Methode betrachtet werden.

Die wichtigsten allgemeinen Methoden und die feinsten Details sind in den klassischen Werken von Claude-Bernard, Leçons de physiologie opératoire 1879, und E. Cyon, Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen 1876, gegeben. Letzterer besaß eine persönliche reiche Erfahrung, war Meister der Vivisektionstechnik und war außerdem gründlich damit vertraut, wie das Vivisezieren im weltberühmten Laboratorium von Ludwig bestellt war. Deswegen muß eine gegenwärtige Beschreibung der Vivisektionsmethoden durchaus zum größeren Teil eine Wiederholung der genannten Werke sein und daher ist es vielleicht praktischer, dieselben detalliert dadurch zu ergänzen, was die seit dem Erscheinen dieser Bücher durchlebte Zeit mit sich gebracht hat.

Die wichtigsten Punkte der Vivisektionsmethode sind folgende:

1. Das Greifen und das Fixieren des Tiers für die Vivisektion.
2. Das Narkotisieren und das Immobilisieren des Tiers.
3. Die Regeln fürs Sezieren und die Vivisektionsinstrumente.
4. Das künstliche Atmen.

Für die Mehrzahl der physiologischen Experimente muß das Tier in einer gewissen Lage festgehalten werden und dem Experimentator muß die Möglichkeit gegeben werden, bequem und ohne irgendwelche Gefahr für sich beliebige Vivisektionsakte am Tier zu vollziehen und das Tier genügend lange Zeit zu beobachten. Der Vorgang, durch welchen man ein nicht narkotisiertes Tier in eine fürs Experimentieren bequeme Lage bringt, zerfällt in einige Prozeduren:

1. Das Greifen des Tiers.
2. Die Immobilisierung der Kiefer und das Befestigen des Kopfes des Tiers.
3. Das Festhalten des Tiers in der gewünschten Lage.

Dementsprechend können die speziellen Apparate, welche in manchen Fällen für jede von diesen Prozeduren gebraucht werden, ebenfalls in einige Gruppen eingeteilt werden:

1. Apparate zum Greifen des Tiers.
2. Kopfhalter und Maulsperren.
3. Vivisektionstische, Tröge und Gestelle.

a) Das Greifen des Tiers.

Die Frage hinsichtlich des gefahrlosen Ergreifens des Tiers entsteht nur bei solchen Tieren, welche einen gewissen Widerstand leisten und genügende Kraft oder spitze Zähne oder Krallen u. dergl. besitzen. Die Schwierigkeit, sich eines Tiers zu bemächtigen, ist nicht immer mit dessen Größe oder Kraft verbunden. So ist das Anbinden einer Katze oder einer Ratte an den Vivisektionstisch oft gefährlicher als das Anbinden eines Hundes oder eines Pferdes. Als eine allgemeine Regel für alle Tiere, die auf einer hohen Stufe der Verstandesentwicklung stehen, mit welchen der Physiologe es zu tun hat (Hund, Katze, Pferd, Kuh u. a. m.), kann ein freundlicher Umgang mit denselben und ein möglichst delikates Verfahren beim Festhalten und Anbinden anempfohlen werden. Schon durch freundlichen Um-

gang mit dem geschreckten, in ganz fremde Umstände gelangten Tier gelingt es, sich ihm zu nähern, ihm das Maul zuzubinden und den Kopfhalter anzulegen, d. h. sich vor den gefährlichsten Verwundungen zu sichern. Und nur in den Fällen, wenn man des Tiers nicht habhaft werden kann, sieht man sich gezwungen, zu besonderen Handgriffen überzugehen. Diese Handgriffe laufen z. B. bei Hunden darauf hinaus, sich des Nackens zu bemächtigen, sei es dadurch, daß man das Tier mit der Hand an der Nackenhaut anpackt, oder sei es, daß man ihm ein besonderes Halsband oder schließlich eine Schlinge umwirft, mit deren Hilfe das Tier eine Zeitlang gewürgt wird (Cl. Bernard, S. 107).

Es existieren besondere Zangen für den Nackengriff (pince à collier) (Cl. Bernard, S. 108). Es sind lange eiserne Zangen, deren Zweige sich unmittelbar am Halse des Tiers kreuzen, und so einen Ring bilden, in welchen der Hals des Tiers hineingestellt wird.

Demselben Ziel können zwei Stöcke dienen, an deren Enden je eine Schlinge zum Zuziehen angebracht ist. Diese Schlingen werden dem Hunde um den Hals geworfen und bis zu einem gewissen Grade zugezogen; die Stöcke dienen dazu, um in möglichster Entfernung vom gereizten Tier zu bleiben (Cl. Bernard, S. 106). Roussy[1]) hat dieses einfache Gerät vervollkommnet und hat es schließlich dazu gebracht, daß man eine Riemenschlinge auf dem Halse des Tiers nach Wunsch fester zuziehen und loser lassen kann, indem man an dem vom Hunde entfernten Ende des Stocks eine mit dem Riemen verbundene Hülse hin und her bewegt. Roussy empfiehlt sein Halsband außer für Hunde ebenfalls für Schlangen, Katzen, Ratten u. m. a.

Um so große Tiere wie Pferde und Kühe in seine Gewalt zu bekommen, bedient man sich verschiedenartiger sog. Nasenklemmen. Das Verfahren besteht darin, daß irgendeine sehr sensible Stelle des Körpers (am öftesten das Ende der Nase und die Oberlippe) so stark zusammengequetscht wird, daß das Tier vor lauter Schmerzen und um eine Verstärkung derselben zu verhüten, bemüht ist, sich nicht zu bewegen. Das Einklemmen kann mittels einer an einem Stock befestigten Strickschlinge oder mit Hilfe einer besonderen Klemme (morailles, Cl. Bernard, S. 43), deren Äste beliebig nahe aneinander geschoben werden können u. dergl., erreicht werden.

Der Gebrauch dieser Apparate gibt nicht nur die Möglichkeit, sich eines unbändigen Tiers zu bemächtigen, sondern er ermöglicht es auch, am Tier (z. B. am Pferde) manche einfachere physiologische Operationen (wie z. B. die Tracheotomie, das Präparieren der V. jugularis, der Art. carotis, des N. vagus, die Fistel des Ductus stenonianus u. a. m.) zu vollziehen (Richet, „Cheval").

b) Das Fixieren der Kiefer und das Befestigen des Kopfes des Tiers.

Wenn der Experimentator sich des Tiers bemächtigt hat, muß er ihm vor allen Dingen das Maul zubinden oder einen entsprechenden Kopfhalter anlegen.

Der Hund.*)

Das Zubinden des Mauls des Hundes vollzieht man auf die Weise, daß man den Strick einigemal um das Maul schlingt und ihn, um ein Abrutschen des Stricks nach vorne zu verhüten, am Nacken zubindet. Dasselbe kann man dadurch erreichen, daß man hinter den Eckzähnen ein hölzernes oder besser ein metallenes Stäbchen ins Maul des Tiers hineinschiebt. Der Strick, der dabei ums Maul des Tiers herumgebunden wird, kann dann nicht nach vorne abgleiten. Wenn das Ende des Stäbchens mit einer Öse versehen ist, so kann hier der Strick durchgezogen werden und der Kopf des Tiers kann an einen vertikalen Stab, welcher an einem Ende des Vivisektionstisches emporragt, fest angezogen werden (Cl. Bernard, S. 108; Cyon, S. 34). Damit der Körper des Hundes möglichst gut befestigt und unbeweglich fixiert wird, ist es unbedingt nötig, den Körper des Tiers auf die entgegengesetzte Seite wegzuziehen und ihn in so einer ausgespannten Lage zu fixieren.

Das Festhalten des Kopfes kann beim Hunde auch mit Hilfe eines einfachen Stäbchens ohne Öffnungen an seinen Enden erreicht werden, wenn man den Strick einigemal 8förmig ums Maul laufen läßt, ihn am Unterkiefer festbindet und die Enden am oben erwähnten vertikalen Stab des Vivisektionstisches festbindet. Das ist die allereinfachste Art, die Hundekiefer unbeweglich zu machen und den Kopf festzuhalten.

Außer diesen einfachen Gerätschaften gibt es eine ganze Reihe Hundekopfhalter, welche von verschiedenen Autoren vorgeschlagen werden.

Die Aufgabe eines jeden Vivisektionskopfhalters besteht darin, die Kiefer des Hundes unbeweglich zu machen und die Möglichkeit zu schaffen, den Kopf des Tiers in einer beliebigen Lage festzuhalten. Außerdem verfolgen manche Kopfhalter den Zweck, auch die Möglichkeit zu geben, das Maul des Tiers zu öffnen (Maulsperre).

Kopfhalter.

Für die Wahl des Kopfhalters ist der Umstand, daß diese oder jene Teile des Kopfes fürs Operieren unzugänglich werden, von nicht geringer Bedeutung. Diese Frage entsteht jedesmal, wenn am Kopf manipuliert werden soll.

Die für Hunde und andere Tiere vorhandenen Kopfhalter gründen sich gewöhnlich auf eins von folgenden zwei Prinzipien: als Stützpunkte des ganzen Systems dienen entweder die Eckzähne des Tiers oder dessen Hinterkopf; es gibt auch Kopfhalter, bei denen diese beiden Stützpunkte benutzt werden.

---

*) Die Beschreibung der Handgriffe und der Apparate, welche zum Fixieren des Kopfes bei verschiedenen Tieren gebraucht werden, haben wir für die verschiedenen Tierarten apart dargestellt. Da aber öfter dieselben Handgriffe und dieselben Apparate auch bei verschiedenen Tieren gebraucht werden, war es unmöglich, eine strenge Trennung durchzuführen. Bei der Verteilung des Materials ließen wir uns dadurch leiten, für welches Tier der gegebene Handgriff oder der gegebene Apparat am gebräuchlichsten ist, wobei wir stets auf die Möglichkeit seines Gebrauchs auch bei anderen Tieren hinwiesen. — Bei den Nachforschungen über die Apparate war mir Dr. B. P. Babkin behilflich, welchem ich dafür hier meinen Dank ausspreche.

Im ersten Falle besteht das Verfahren darin, daß hinter die Eckzähne des Hundes ein Metallstäbchen hineingeschoben wird, welches auf irgendwelche Art an den Vivisektionstisch, -trog usw. befestigt wird. Dabei werden die Kiefer mit Hilfe gewisser Vorrichtungen so fest aneinander gedrückt, daß die zusammengepreßten Zähne dem Metallstab das Entgleiten nach vorwärts nicht gestatten. Wenn nun der Rumpf des Tiers in die entgegengesetzte Seite gezogen wird, so ist der Kopf vollständig fixiert: nach rückwärts kann er nicht entweichen, denn das verhindert der Metallstab, welcher sich gegen die Eckzähne stützt; nach vorwärts kann er nicht rücken, denn es findet ein Zug am Halse des Tiers statt und der Körper ist in einer gewissen Lage fixiert.

In dem Falle, wenn der Hinterkopf den Stützpunkt bildet, wird auf den vorderen Teil der Schnauze ein Ring, eine Kette u. dergl. fest angezogen. Dieser Ring ist auf irgendwelche Art (mit Hilfe eines Stabes, des Tischbrettes) mit derjenigen Vorrichtung (Riemen, Metallgabel, Kette), welche den Nacken des Tiers umfaßt, verbunden.

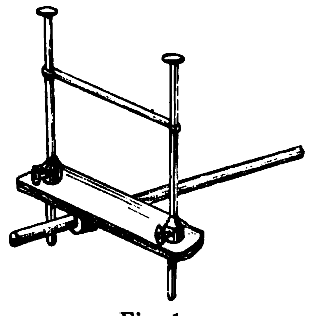


Fig. 1.

Der ganze Apparat wird mit dem Vivisektionstisch, auf dem das Tier liegt, verbunden. Der Rumpf wird hierbei auch etwas auf die entgegengesetzte Seite gezogen. Dank diesen Vorrichtungen übt der Druck auf den Hinterkopf folgende Wirkungen aus: 1. er gestattet es dem Tier nicht, den Kopf nach rückwärts zu bewegen; 2. drückt er den vorderen Teil der Schnauze an den auf diese fest aufgesetzten Ring an und trägt dadurch zur vollständigen Immobilisierung des Kopfes bei.

Das Folgende hat nicht zum Ziel, alle existierenden Kopfhalter und Maulsperren zu beschreiben. Die Aufgabe des Vorliegenden besteht vielmehr darin, die gebräuchlichsten Grundtypen der hierher gehörenden Apparate darzustellen.

Einen typischen Kopfhalter, mit dem Stützpunkt an den Eckzähnen, bietet uns der Cl. Bernardsche Kopfhalter, welcher mit dem Trog vereinigt ist; er besteht aus einem Metallstab, welcher im Maul des Tiers hinter den Eckzähnen placiert wird (Fig. 1). Das Maul des Tiers muß hinter diesem Stäbchen mit einem Strick fest zugebunden werden. Dieses Stäbchen ist an zwei vertikalen Kolonnen beweglich angebracht, welche selbst auf einer dicken Metallplatte hin und her bewegt werden können. Diese Metallplatte wird, ebenfalls beweglich mit einem Metallstab, welch letzterer wiederum an dem Trog befestigt ist, verbunden und diese Platte kann in der beliebigen Lage fixiert werden. Dank dieser Einrichtung kann der Kopf des Tiers nach vorne und nach hinten, nach unten und nach oben verschoben und nach rechts und nach links gedreht werden.

Dasselbe Prinzip liegt dem Kopfhalter, welcher in der Harwardschen medizinischen Schule gebraucht wird, zugrunde. Ein Stab wird ins Maul der Tiers hinter die Eckzähne hineingelegt und von einer Gabel festgehalten, welch letztere mittels eines Scharniers mit dem Vivisektionstisch verbunden ist. Die Schnauze des Tiers wird mit einem Strick zugebunden.

Die „Kynolithkopfhalter“, welche Cl. Bernard gebrauchte und Cyon (S. 35) vervollkommnet hat, sind nach einem anderen Prinzip konstruiert. Nicht der Eckzahn, sondern der Hinterkopf bildet hier den Stützpunkt, auf welchem der ganze Apparat sich hält. In allgemeinen Zügen ist die Konstruktion des Apparats folgende: Das Maul des Hundes wird in einen großen eiförmigen Ring eingestellt, und zwar derart, daß der Unterkiefer auf dem unteren Ende des Ringes ruht (Fig. 2). Von oben wird das Maul des Tiers durch eine Platte, welche den Konturen nach der Hundeschnauze

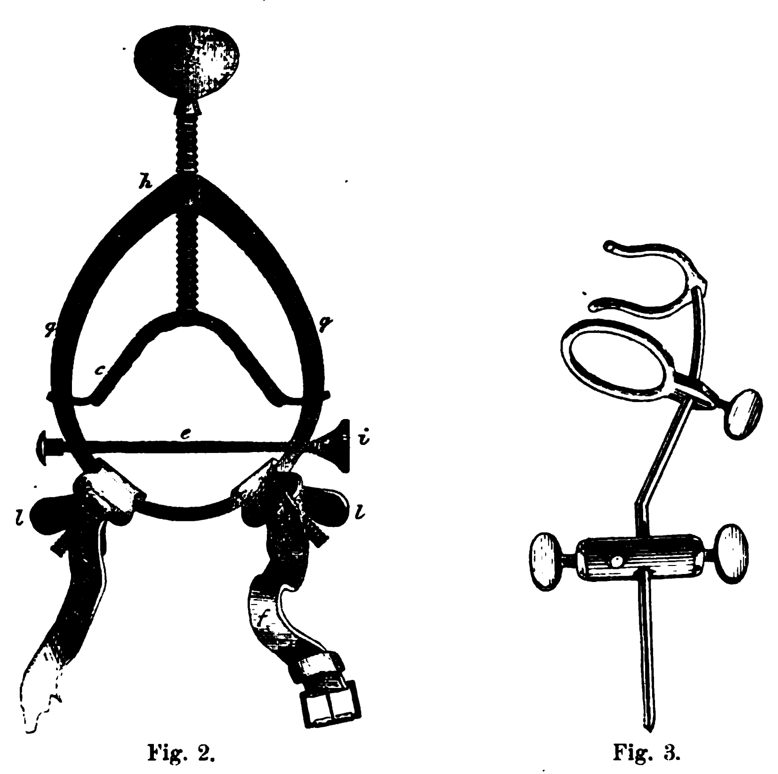


Fig. 2. Fig. 3.

entspricht, eingeklemmt. Diese Platte wird mittels einer Schraube im eiförmigen Ring hin und her bewegt. Dank dieser Einrichtung kann der Kopfhalter Hunden von verschiedener Größe angelegt werden. Am unteren Ende des eiförmigen Ringes sind zwei Riemen befestigt, welche auf dem Nacken zugezogen werden. Der ganze Apparat wird mit Hilfe eines horizontalen Metallstabes mit dem vertikalen Stab des Vivisektionstisches vereinigt.

Um diesen Apparat noch zuverlässiger zu machen, hat Cyon ihm ein Metallstäbchen, welches, wenn der Kopfhalter schon angelegt ist, hinter den Eckzähnen ins Maul hineingeschoben wird, hinzugefügt. Dieses Stäbchen wird mittels einer Schraube im Durchmesser des eiförmigen Ringes befestigt. In dem so veränderten Kynolith sind also zwei Stützpunkte vorhanden, der Nacken und die Zähne.

Nach dem Typus des veränderten Kynoliths ist der „mors immobilisiteur“ von Roussy[3]) konstruiert. Er hat die Eigentümlichkeit, daß der Stab, welcher ins Maul des Tiers hineingestellt wird, mit zwei Riemen an den Ober- und Unterkiefer des Tiers festgebunden wird. Außerdem beginnen von diesem Stab zwei Riemen, welche sich unter dem Unterkiefer kreuzen und auf dem Nacken zugezogen werden.

Der Tatinsche Kopfhalter, der in unserem Laboratorium in Gebrauch ist, beruht auf dem Prinzip des unveränderten Kynoliths, d. h. als Stützpunkt dient der Nacken. Der Apparat ist höchst bequem und einfach (Fig. 3). Er besteht aus einem langen Metallstab, welcher nach der Form der Schädeldecke und der Schnauze gebogen ist und über ihnen verläuft. Am einen Ende läuft dieser Stab gewissermaßen in eine eigenartige hufeisenförmige



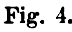


Fig. 4.

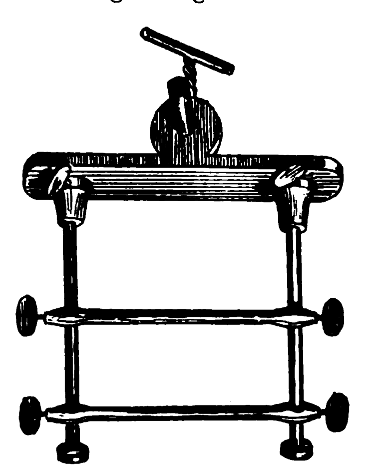


Fig. 5.

Figur aus, in die der Hinterkopf des Tiers eingestellt und von ihr fest umschlungen wird. Auf den Stab ist ein Ring angezogen, welcher mittels einer Schraube an der beliebigen Stelle des Stabs festgemacht werden kann. Dieser Ring wird, soweit es möglich ist, aufs Maul des Tiers angezogen und dann in dieser Lage befestigt. Das vordere Ende des Stabes wird durch ein besonderes Zwischenglied mit dem vertikalen Stab des Vivisektionstisches vereinigt. Dieses Zwischenglied stellt ein kurzes Metallstück dar, bei dem rechtwinklig zu einander zwei tiefe Furchen ausgehöhlt sind. In die eine Furche — in die vertikale — wird der vertikale Stab des Vivisektionstisches hineingestellt und mittels einer sich hier befindlichen Schraube fixiert. In die horizontale Furche wird der Stab des Kopfhalters hineingestellt und ebenfalls mit einer Schraube befestigt. Dank diesem Zwischengliede kann das ganze System nach vorne oder nach hinten verschoben werden, gehoben oder gesenkt oder um seine Achse gedreht werden. Im Laboratorium müssen verschiedene Kopfhalter für Hunde von verschiedener Größe vorhanden sein. Angesichts des billigen Preises dieser Apparate, welcher durch die Einfachheit der Konstruktion bedingt wird, bietet das keine Schwierigkeiten.

Nach demselben Prinzip, wie der eben beschriebene Kopfhalter, ist der Kopfhalter von Livon[4]) konstruiert. Er unterscheidet sich aber vom ersten in folgendem: 1. die Zweige der Hinterhauptgabel sind durch eine Kette, welche den Hals von unten umfaßt, verbunden, und 2. ist der Schnauzring zum Auseinanderschieben gemacht, um für Tiere verschiedener Größe brauchbar zu sein.

Der Cowlsche Kopfhalter, der nach dem Prinzip des Tatinschen Kopfhalters konstruiert ist, unterscheidet sich von ihm in zwei Punkten: 1. ist die Hinterhauptgabel bei einer jeden Lage des Tiers nach oben hin geöffnet; 2. ist der Schnauzring mit der Hinterhauptsgabel nicht verbunden, sondern wird, wie auch diese letztere, am Tisch des Autors (siehe unten) befestigt und zwar so, daß beide unabhängig voneinander sind (Fig. 4). Dadurch, daß man die Gabel und den Ring näher zu einander schiebt oder voneinander entfernt, ist die Möglichkeit gegeben, ein und denselben Kopfhalter für Tiere von verschiedener Größe anzuwenden.

In der von Roussy[6]) vorgeschlagenen „muselière immobilisatrice métallique universelle“ sind sowohl der Schnauzring als auch die Hinterhauptsgabel durch zwei Vaucausonsche Ketten ersetzt. Diese werden über einem dreieckigen Brett, an welcher der Unterkiefer des Hundes stark angezogen wird und auf dem der ganze Kopf des Tiers ruht, zugezogen. Dieses Brett wird mit Hilfe eines Metallstabes mit dem Vivisektionstisch vereinigt.

Maulsperren.

Jeder Kopfhalter kann mit einer Maulsperre vereinigt werden, und daher können bei letzterer ebenfalls entweder die Eckzähne oder der Nacken oder diese beiden Teile des Kopfes zugleich als Stützpunkte dienen. Außerdem gibt es aber auch selbständige Maulsperren, die mit keinem Kopfhalter verbunden sind.

Der Kopfhalter mit Maulsperre von Cl. Bernard (S. 138) stellt einen viereckigen Rahmen vor; die zwei horizontalen Seiten desselben, welche aus Metallstäben bestehen, können an den vertikalen Seiten auf und ab bewegt werden (Fig. 5). Indem man die horizontalen Zweige, einen an den Oberkiefer, den anderen an den Unterkiefer (einfach mit Stricken) anbindet und sie auseinander schiebt, kann man die gewünschte Weite der Mundöffnung beim Tier erhalten. Die Lage der horizontalen Zweige wird mit Schrauben, mittels denen sie an die vertikalen angedreht werden, fixiert. Diese letzteren sind an einer Metallplatte befestigt, welche mit Hilfe eines Stabs mit dem Trog verbunden ist. Die vertikalen Zweige können, wie auch im einfachen Cl. Bernardschen Kopfhalter, aufs gewünschte Niveau gehoben oder gesenkt werden.

Die Cowlsche Maulsperre[5]) gibt die Möglichkeit, bei Hunden und Katzen die Stimmbänder zu besehen, auf der Schädelbasis zu operieren usw. Die Eigenheit und die Bequemlichkeit dieser, nach dem Cl. Bernardschen Typus gebauten Maulsperre besteht darin, daß man durch das Drehen nur einer Schraube die im Maul des Hundes liegenden Stäbe gegeneinander oder voneinander weg verschieben kann. Die Cowlsche Maulsperre kann mit dem Cl. Bernard-Cyonschen Kynolith vereinigt werden.

Später hat Cowl[7]) seinen Apparat etwas verändert und Maulsperre und Kopfhalter an einem Apparat vereinigt (Fig. 6). Als Konstruktionsprinzip gilt das Festhalten des Ober- und Unterkiefers zwischen je zwei Metallstäben, von denen der eine durch das Maul geführt wird, der andere aber auf den Oberkiefer von oben, auf den Unterkiefer von unten drückt. Die ganze Vorrichtung kann mit Hilfe von Schrauben in die Seiten, nach oben und nach unten verschoben werden.

Nach demselben Typus ist die von Grossmann beschriebene Maulsperre konstruiert; sie unterscheidet sich von der oben beschriebenen nur in einigen

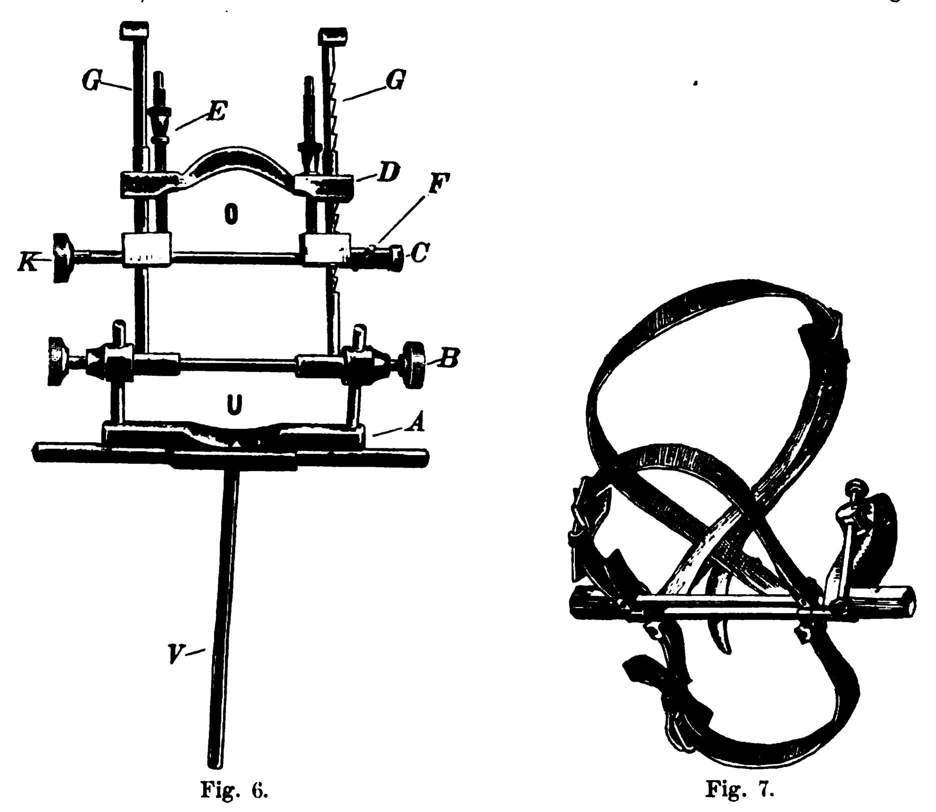


Fig. 6.

Fig. 7.

Details[8]). Der Apparat wird am Kopf des Tiers und am Vivisektionstisch mit Hilfe solcher Vorrichtungen, wie sie beim Czermakschen Kopfhalter für Kaninchen (siehe unten) zu haben sind, befestigt.

Der „mors ouvre-gueule“ für Hunde von Roussy[9]) ist nach dem Typus des „mors immobilisateur“ (siehe oben) konstruiert, nur mit dem Unterschiede, daß, anstatt einem, zwei dicht übereinander liegende Stäbe im Maul des Tiers zu liegen kommen (Fig. 7). An der linken Seite des Kopfhalters sind an den Stäben zwei miteinander verbundene Metallstäbchen angebracht. Mit Hilfe einer Schraube, die durch das obere Stäbchen durchgeht und sich ins untere stemmt, können sie auseinander oder zusammengeschoben werden; dieses bewirkt eine entsprechende Bewegung der im Maul des Tiers liegen-

den Stäbe und somit auch der Kiefer des Tiers. Der Kopf des Tiers wird fixiert, indem man die achtkantigen Griffe, welche vom oberen Stab entspringen, in die entsprechenden Vorrichtungen des von demselben Autor konstruierten Tisches (siehe unten) hineinstellt.

Nach demselben Typus, nur schwerfälliger, ist der „mors ouvre-gueule" für Hunde von Roussy[10]); er ist einige Jahre früher (1894) von ihm vorgeschlagen worden. Die Riemen, welche um die Schnauze herum gezogen werden, sind hier durch Metallbögen ersetzt, und der Riemen, welcher sich ums Hinterhaupt schlingt, durch eine Vaucausonsche Kette.

Der Kopfhalter und die Maulsperre für Hunde von Malassez[11]) besteht aus einem Metallstab, der dem Rande des Unterkiefers entlang gelegt wird. Der Stab endigt mit einem Haken, welcher hinter der Unterkieferecke verläuft und den Hinterkopf umfaßt. Der Haken kann für verschieden große Hunde nach Wunsch größer oder kleiner gemacht werden (Fig. 8).

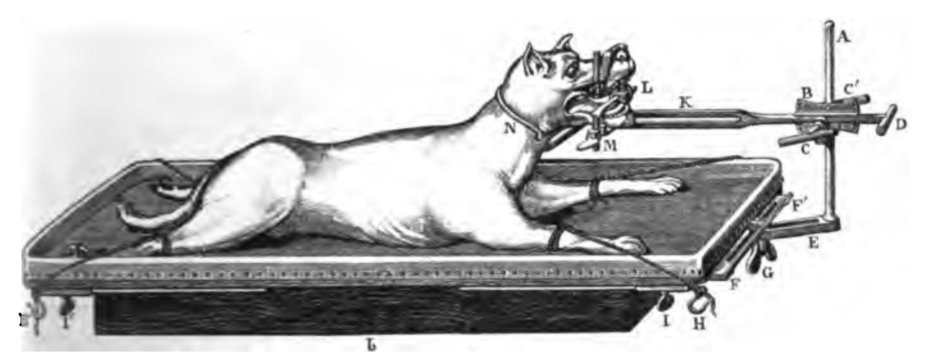


Fig. 8.

Am Stabe läßt sich ein Ring hin und her bewegen, welcher dem Hunde aufs Maul angezogen wird. Dieser Ring besteht aus zwei Hälften, einer unteren unbeweglichen und einer oberen beweglichen. Wenn der Ring aufs Maul des Hundes angezogen ist, werden zwischen den Kiefern des Tiers zwei Metallstäbe durchgeführt, von denen der eine mit dem oberen, der andere mit dem unteren Halbringe fest verbunden wird. Sowohl der Unterals auch der Oberkiefer erweisen sich auf diese Art in einen Metallring eingeschlossen. Indem man nun den oberen Ring hebt oder senkt, öffnet man, soweit man will, das Maul des Tiers.

Der vordere Teil des Stabes wird mittels eines Zwischenstücks mit dem vertikalen Stabe des Vivisektionstisches vereinigt.

Der Apparat von Malassez gibt die Möglichkeit, auf der vorderen und auf der oberen Kopfoberfläche zu arbeiten, was z. B. mit dem Tatinschen Kopfhalter ganz unmöglich ist.

Kaninchen, Meerschweinchen und andere kleine Vierfüßler.

Für nicht große Operationen können die Kaninchen immer von einem Gehilfen gehalten werden, wie es Cl. Bernard (S. 139) rät: das Tier wird auf den Rücken gelegt, mit der linken Hand werden alle vier Extremitäten

festgehalten und mit der rechten faßt man den Kopf an und zwar derart, daß der Daumen auf dem Unterkiefer zu liegen kommt und die übrigen vier Finger auf der Schädeloberfläche des Kopfes.

Der am meisten gebräuchliche Kopfhalter zum Festhalten der Kaninchen ist der von Czermak (Cyon, S. 36) (Fig. 9). Er besteht aus einem Metallstäbchen, welches hinter den Schneidezähnen in den Mund hineingeschoben wird. Es wird dadurch festgehalten, daß zwei Zweige des Apparates, welche die Form von folgender Figur ⊓ haben, einer auf die Schädeldecke, der andere an den Unterkiefer angelegt werden und den Mund des Tieres fest zudrücken. Als Stützpunkt dienen die Zähne des Tiers. Der Kopfhalter ist mittels eines horizontalen Stabes mit dem vertikalen Stab des Vivisektionsbretts oder -tisches verbunden. Da das Metallstäbchen zuweilen aus dem Munde herausspringt und so der Kopf aus dem Kopfhalter befreit wird, so

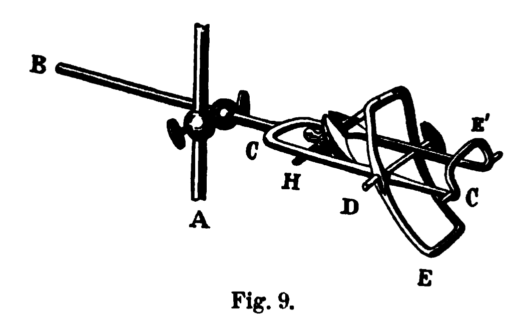


Fig. 9.

hat Cyon vorgeschlagen, mit Hilfe von Riemen, die am Hinterhaupt zugezogen werden, noch einen Stützpunkt zu schaffen, wie er beim Bernard-Cyonschen Kynolith sich vorfindet.

Eine Veränderung des Czermakschen Kopfhalters stellt der Johanssonsche Kopfhalter für Kaninchen, Katzen und kleine Hunde dar[12]). Er umfaßt den Kopf wie die Zange des Geburtshelfers. Seine Zweige liegen zu beiden Seiten des Kopfes. „Vorn stützen sich die Zangenblätter teils mittels je eines leicht S-förmig gekrümmten Vorsprunges gegen die Nasenbeine, teils gegen das Dach der Mundhöhle mittels eines Zapfens, welcher hinter den Schneidezähnen bei Kaninchen oder Eckzähnen bei Hunden und Katzen angebracht wird. Der Unterkiefer wird durch einen zweiten Vorsprung gegen den Oberkiefer gedrückt.“

Wie wir es bei den Hunden gesehen haben, gibt es auch hier Abänderungen desselben Kopfhaltertypus, die den Kopf zwischen Hinterhaupt (hufeisenförmige Erweiterung) und dem vorderen Teil der Schnauze (Ring) fixieren. Solche Kopfhalter gibt es auch für Kaninchen, Meerschweinchen u. dergl. Der Unterschied besteht hauptsächlich in der Lage des Stabes, welcher das Hufeisen mit dem Ring verbindet: bald geht er oberhalb des Kopfes (Tatin), bald von der Seite (Malassez), bald fehlt er gänzlich (Cowl) und Ring und Hinterhauptgabel werden einzeln am Vivisektionstisch befestigt.

Der Tatinsche Kopfhalter besteht aus einem Stab, der in eine Gabel fürs Hinterhaupt ausläuft und auf dem sich ein Ring für die Schnauze hin

und her bewegt (siehe den oben beschriebenen Kopfhalter, der in unserem Laboratorium für Hunde gebraucht wird). Die Eigentümlichkeit des Kopfhalters besteht in der Art und Weise, wie er mit dem Vivisektionstisch vereinigt wird. Der Stab des Kopfhalters endigt mit einer Metallkugel, welche einen vertikal stehenden, ziemlich breiten massiven Metallbogen umfaßt, letzterer ist mit dem Vivisektionstisch verbunden. Durch das vertikale Ende dieses Bogens geht eine Schraube durch; wenn man diese festschraubt und folglich auf die Kugel drückt, kann man den Kopfhalter in der gewünschten Lage fixieren. Centani[13]) hat vorgeschlagen, diese Schraube nicht oben, sondern vorne anzulegen, wodurch das Manipulieren auf dem vorderen Teil der Schnauze des Tiers erleichtert wird.

Der Mechaniker Hoffmeister in Marburg[14]) hat für Kaninchen einen Kopfhalter vorgeschlagen, der nach dem Typus des Tatinschen Kopfhalters

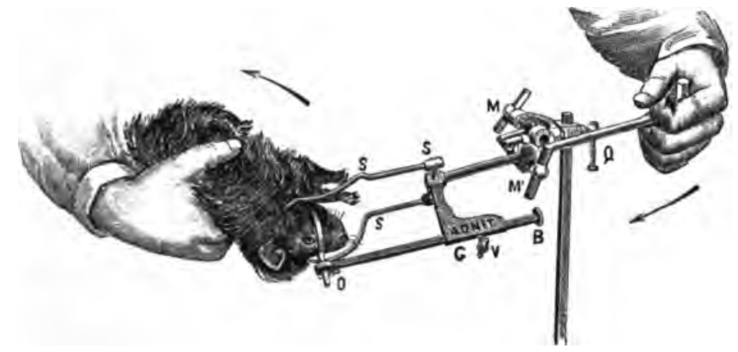


Fig. 10.

konstruiert ist. Er wird aber mit dem Vivisektionstisch mittels eines Zwischenstücks, nicht mittels einer Kugel vereinigt. Er muß in 3 verschiedenen Größen, für Kaninchen von verschiedener Größe zu haben sein. Analoge Apparate für Meerschweinchen und Ratten werden in Paris vom Mechaniker Verdin angefertigt[15]).

Nach demselben Prinzip, mit einem von der Seite verlaufenden Stab, ist der Malassezsche Kopfhalter konstruiert[16]). Der Ring wird ohne Maulsperre fest auf die Schnauze aufgesetzt (vergl. oben die entsprechenden Malassezschen Apparate für Hunde). Der Kopfhalter ist in 3 Größen vorhanden: für Kaninchen und Katzen, etwas kleiner für kleine Kaninchen und Meerschweinchen und schließlich der allerkleinste für Ratten, Hühner und Tauben. Dieser letztere hat einige Besonderheiten. Um nämlich das Annähern mit den Händen an das Maul der stark beißenden Ratten zu vermeiden, wird der Ring, den man aufs Maul des Tiers anzieht, nicht direkt mit der Hand eingestellt, sondern er setzt sich in eine Röhre fort, welche den Stab des Kopfhalters umfaßt; am Ende der Röhre befindet sich eine Schraube.

Später hat Malassez[17]) seinen Apparat vervollkommnet, indem er Haken für den Hinterkopf machte und den Schnauzring abnehmbar einrichtete, so daß derselbe Kopfhalter nun für verschiedene Tiere tauglich war.

Der Steinachsche Kopfhalter für Kaninchen, Meerschweinchen und sogar für kleine Hunde ist dem Malassezschen Kopfhalter ganz analog[18]).

Dem Debrandschen[19]) Apparat für Vögel und kleine Vierfüßler (von der Maus bis zum kleinen Hunde) liegt auch die Fixierung des Kopfes des Tiers zwischen Maul und Hinterkopf zugrunde. Der Kopf des Tiers wird durch einen gewellten Ring (serre-tête), welcher in einem Stativ befestigt ist, durchgezogen. Das Hinterhaupt wird im hinteren Teil dieses Ringes eingeklemmt und aufs Maul wird fest ein anderer Ring angezogen, welcher auch mit dem Stativ verbunden ist.

Für kleine Vierfüßler gibt es auch Kopfhalter und Maulsperren, welche nach dem gewöhnlichen Typus derselben Apparate für Hunde gebaut sind und sich nur dadurch auszeichnen, daß sie kleiner sind, wie z. B. die Apparate von Roussy[10]) (mors ouvre-gueule) und Cowl[5]). Letzterer ist nach dem Typus des Cl. Bernardschen Kopfhalters mit Maulsperre für Hunde konstruiert und ist hauptsächlich für Kaninchen berechnet.

Demselben Ziel, um die tiefgelegenen Rachenteile beim Kaninchen zu untersuchen, dient der vom Mechaniker L. Castagna in Wien nach den Anweisungen von Prof. Dr. S. Exner angefertigte Kopfhalter. Dieser Kopfhalter umfaßt den Oberkiefer, der Unterkiefer aber bleibt frei.

Die Katze.

Da die Katze beim Anbinden heftigen Widerstand leistet, ist ihr Befestigen am Vivisektionstisch gefährlich.

Das Zubinden des Mauls ist bei der Katze schwerer als beim Hunde, denn dieser Teil ihres Kopfes ist sehr kurz. Dieses kann, ebenso wie auch beim Hunde, einfach mit Hilfe eines Stricks oder noch besser durch das Kombinieren des Stricks mit einem Stab, den man durch das Maul durchführt, erreicht werden. Für Katzen können dieselben Kopfhalter wie für Hunde und Kaninchen gebraucht werden (Cl. Bernard, Czermak, Malassez, Johansson u. a.)

Der Mechaniker Ch. Verdin in Paris konstruiert spezielle Kopfhalter für Katzen (Richet, Chat).

Bei denselben Tieren kann der Kopfhalter nach Prof. S. Exner, welcher vom Mechaniker L. Castagna in Wien angefertigt wird, gebraucht werden. Dieser Kopfhalter ist nach dem Typus des Czermakschen Kopfhalters für Kaninchen konstruiert und dem Kopf der Katze angepaßt.

Vögel.

Das Fixieren des Vogelkopfes erreicht man mit Hilfe der oben beschriebenen Kopfhalter von Malassez, Debrand usw. Ein Apparat speziell für Vögel ist von Roussy vorgeschlagen worden[20]) (Fig. 11).

Der Apparat von Roussy besteht aus einer Metallröhre, die nach einem Ende hin kleiner wird. Im mittleren Teil hat diese Röhre eine Spalte. Inwendig verlaufen vier Stricke, welche am platten Ende der Röhre zwei Schlingen bilden, am entgegengesetzten Ende aber alle in einen Knoten zugebunden werden. Auf der Röhre befindet sich eine Schraubenmutter; wenn nun diese festgedreht wird, so wird die Röhre zusammengequetscht und der Strick in der gegebenen Lage festgehalten. Der Kopf des auf dem Rücken

liegenden Vogels wird unter den flachen Teil der Röhre untergeschoben und die eine Schlinge wird um den Hinterkopf herum, die andere um den Schnabel vor den Augen herumgelegt; danach wird diese Schlinge festgemacht.

Große Vierfüßler.

Das Fixieren des Kopfes großer Vierfüßler wird mit Hilfe spezieller Handgriffe und Apparate erreicht, deren Beschreibung hier keinen Platz finden kann.

c) Die Befestigungsweisen der Tiere.

Wenn der Kopfhalter dem Tier angelegt ist und der Kopf mittels irgendeiner Vorrichtung, welche mit dem Vivisektionstisch vereinigt ist, festgehalten wird, so ist es nötig, noch den übrigen Teil des Körpers zu fixieren. Diesem Zweck dienen verschiedentliche Vivisektionstische, -tröge, -bretter und -stative, welche zu verschiedener Zeit vorgeschlagen worden sind. Der Gebrauch eines jeden von ihnen wird im einzelnen Falle hauptsächlich durch

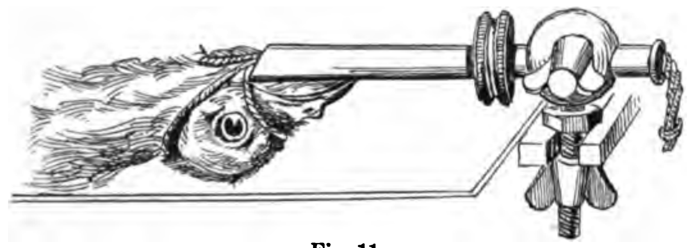


Fig. 11.

die Größe des Tiers bestimmt. So werden kleinere Tiere (Kaninchen, Meerschweinchen, Vögel u. dergl.) auf Brettern oder an Tischen mit kleinen Füßen befestigt. Mittelgroße Tiere (Hunde, Katzen) werden an Tischen, Trögen und Stativen angebunden; große Tiere (Pferde, Kühe u. dergl.) werden in Gestellen festgehalten oder auf spezielle Tische gelegt. Irgendwelche strenge Regeln können hierfür nicht gegeben werden und dieses um so mehr, da jeder Erfinder, der einen neuen Kontentativapparat vorschlägt, bestrebt ist, denselben nach Möglichkeit universal zu machen, und stets betont, daß sein Apparat für Tiere von verschiedenster Größe tauglich ist.

Die Wahl des Kontentativapparats muß, außer der Größe des Tiers, noch dem Ziel des Versuchs angepaßt werden. Wenn der Versuch ohne Narkose verläuft, die Operation nicht an tief liegenden Teilen oder Organen vollzogen wird, und wenn die Anwendung von komplizierten, registrierenden Hilfsapparaten nicht nötig ist, so ist es vorteilhaft, das Tier in einem Trog zu befestigen. Im entgegengesetzten Falle sind Tische oder Bretter vorzuziehen (Cyon). Wenn man zu verschiedenen Teilen des gut fixierten Tiers Zugang haben will, muß die Wahl auf ein Stativ fallen.

Das Befestigen des Tiers an einem oder dem anderen Apparat wird durch das Anbinden seiner Extremitäten mit Hilfe von Riemen, Stricken oder bei großen Tieren (Pferden) sogar mit Hilfe von Ketten erreicht. Der

Strick wird als Galgenknoten (noeud coulant) um das untere Ende der Extremität herumgezogen; die freien Enden der Stricke werden entweder durch die Öffnungen, welche in dem Vivisektionstisch, -trog oder dergl. gemacht sind, durchgezogen, oder sie werden an die Stäbe, welche am Rande des Tisches angebracht sind, festgemacht, oder in eigens dafür gemachte bequeme Klemmen eingeklemmt. So eine Klemme stellt nichts anderes dar, als eine leicht gebogene Metallplatte, welche mit ihrer Mitte an dem äußeren Rande des Tisches befestigt ist. Zu beiden Seiten dieser Platte bildet sich zwischen ihr und dem Tisch je eine keilförmige Spalte, in welcher die Schnur rasch und fest eingeklemmt werden kann.

Das Fixieren der vorderen Extremitäten wird z. B. bei Hunden auf folgende Weise erzielt. Die freien Enden der Schnüre, welche mit dem entgegengesetzten Ende schlingenartig um die Extremität herum zugezogen sind, kreuzen sich unter dem Körper des Tiers, unter die Schnur wird die Extremität der entgegengesetzten Seite untergeschoben und die Schnur zugebunden oder in einer Klemme eingeklemmt. Dank dem werden die vorderen Extremitäten fest an den Körper und an den Tisch angedrückt.

Anstatt Stricken empfiehlt Morochowez[21]) breite Lampendochte und Voinitsch-Sianogensky[22]) Zwirnbänder anzuwenden, um einen delikateren Druck auf die Extremität auszuüben.

Centani[23]) gebraucht anstatt Schnüren Metallklemmen, welche man nach Wunsch weiter aufmachen oder zusammenmengen kann. Die Klemmen können längs dem abgeschrägten Rande des Tisches an einem hier befindlichen Metallstab hin und her bewegt werden.

Zu demselben Zweck hat Roussy[24]) vorgeschlagen, an die Extremitäten der Tiere die von ihm erfundenen „Serre-pattes“ anzulegen. Dieses Gerät stellt nichts anderes als eine Schlinge aus Leder oder aus Metall (Kette) dar, unter letztere ist es besser ein Stück Gummi oder Tuch unterzulegen. Die Schlinge wird um die Extremität herum zugezogen und ihr freies Ende am Vivisektionstisch, -brett oder dergl. festgemacht Es gibt „Serre-pattes“ für verschiedene Tiere in den entsprechenden Größen (vom Frosch und von der Maus bis zum Hunde). Die „Serre-pattes“ können sterilisiert werden.

Der Umstand, daß in den Extremitäten, wenn sie mit einer Schlinge, welcher Art sie auch sei, zugezogen und ausgestreckt werden, Blutstauung stattfindet, hat Janowsky[25]) veranlaßt, eine Art zum Immobilisieren der Tiere zu finden, bei welcher die Blutzirkulation in den Extremitäten nicht geschädigt wird. Zu diesem Zweck macht er auf dem Tier (Kaninchen) ein Korsett aus Gazebinden, Watte und Gips, welches, wenn es eingetrocknet ist, längs der Ventrallinie aufgeschnitten wird. Diese Form wird an ein Brett angeklebt und es kann ein jedes Tier derselben Art und von ungefähr derselben Größe in diese Form hineingelegt werden; hier wird es mit Hilfe von Binden festgemacht und auf den Rücken gelegt. Die Extremitäten sind frei und die Blutzirkulation in ihnen ist nicht geschädigt, wie dieses beim gewöhnlichen Anbinden vorkommt. Camus[26]) hat eine analoge Vorrichtung zum Festhalten der Tiere nach der Operation vorgeschlagen.

Wenn man die Vorrichtungen zum Festhalten der großen Vierfüßler außer acht läßt, so ist der Vivisektionstisch vornehmlich zum Fixieren der Hunde bestimmt, obgleich einige Vivisektionstische auch zum Anbinden

kleinerer Tiere benutzt werden können. Was die tragbaren Vivisektionsbretter oder die Tische auf niedrigen Füßen anbetrifft, so werden sie gerade zum Festhalten kleiner Tiere: Katzen, Kaninchen, Meerschweinchen u. dergl. gebraucht. Es gibt aber auch derartige Geräte für Hunde (Cowl[27]). In Trögen können Tiere verschiedener Größe festgehalten werden (Cl. Bernard, S. 123), Stative dagegen (Johansson[28]), Roussy[29])) werden Tieren von einer bestimmten Größe angepaßt.

Im folgenden wird nur auf die charakteristischen Grundzüge der Konstruktion dieser oder jener Geräte oder Kontentativapparate hingewiesen, ohne dabei auf die Details näher einzugehen.

Tische.

Die Vivisektionstische können aus verschiedenem Material gebaut werden. So sind z. B. die Tische von Cl. Bernard (S. 121), Livon[30]) Jolyet (Richet, Chien), Voinitsch-Sianogensky[22]), der Vivisektionstisch unseres Laboratoriums u. a. m. aus Holz gemacht. Der Tisch auf einem Kugelscharnier von Morochowez[21]) ist ganz aus Metall. Bei den Tischen von Malassez (Richet, Chien), Roussy[31]) u. a. ist zwecks größerer Reinlichkeit und Dauerhaftigkeit das obere Tischbrett mit Metall bedeckt. Die Holz- und Metalltische werden oft mit Ölfarbe, gewöhnlich mit weißer, gedeckt, was ebenfalls das Reinhalten der Tische erleichtert.

Gewöhnlich ist das Brett des Tisches mit dessen Füßen unbeweglich vereinigt. Beim Tische von Livon[30]) wird das Brett, um den Tisch recht portativ zu machen, auf zwei hohe und kurze Bänke aufgelegt und an ihnen festgemacht. Die Eigenheiten des Cl. Bernardschen Tisches bestehen darin, daß die Ränder der engeren Seiten dieses eigentlich recht breiten Tisches etwas gehoben sind und auf ihnen ein vierfach zusammengelegtes, an vielen Stellen durchlöchertes Brett liegt. Dieses Brett kann entweder als Vivisektionstisch oder als Vivisektionstrog dienen. Entsprechend den Operationen, die gemacht werden sollen, unterscheidet Cl. Bernard vier Lagen dieses Brettes (Fig. 12).

Wichtiger ist, für die Bequemlichkeit des Operierens, die Höhe und die Breite des Tisches. Hier müssen zwei Arten von Tischen unterschieden werden: solche, an denen man stehend und solche, an denen man sitzend (Morochowez[21])) arbeitet. Der Vivisektionstisch unseres Laboratoriums, der zum Stehendarbeiten gemacht ist, hat folgende Dimensionen: Höhe 97 cm, Breite 51 cm, Länge 160 cm.

An den Rändern des Tisches gibt es spezielle Löcher zum Durchziehen der Stricke (Jolyet, Debrand[32])) oder Stäbe oder Haken (Malassez, Roussy[31])) oder spezielle Klemmen (Tisch von Morochowez und der in unserem Laboratorium gebräuchliche Tisch). An einigen Tischen gibt es über dem Fußende des Tisches einen Metallbogen zum Festhalten der hinteren Extremitäten. Dieser Bogen kann längs dem Tisch hin und her geschoben und nach Wunsch geneigt werden; von diesem Bogen gehen Schlingen aus, welche die hintere Extremität umfassen (Morochowez[21]), Voinitsch-Sianogensky). Bei dem Debrandschen Tisch spielt ein längs dem Tisch hin und her beweglicher Stab dieselbe Rolle.

Das Brett des Cl. Bernardschen (S. 121) und ebenso auch des Livonschen Tisches ist von einer großen Anzahl von Löchern durchsetzt; dank dem können verschiedene Tiere mit Stricken in den verschiedensten Lagen fixiert werden. Hunde werden auf dem Tisch, der Länge des Tisches nach, angebunden; Katzen, Kaninchen, Vögel u. dergl. werden auf ihm der Quere nach angebunden.

Am vorderen Ende des Tisches befindet sich gewöhnlich ein vertikal emporragender Stab, an welchem der Kopfhalter mittels des oben beschrie-

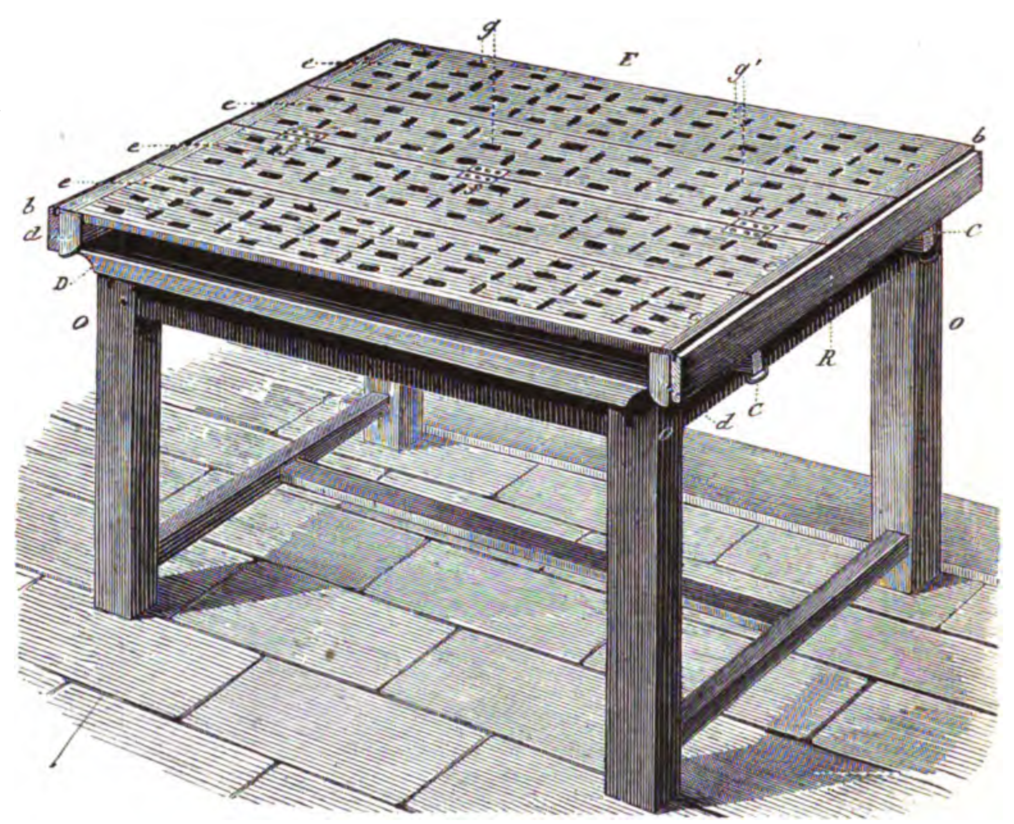


Fig. 12.

benen Zwischenstücks befestigt wird. Bei einigen Tischen wird dieser Stab beweglich angebracht und dadurch ist es möglich, ihm verschiedene Neigungswinkel zu geben

Die Ränder des Tisches, wie es z. B. beim Roussyschen Tisch der Fall ist, können aus hartem Metall gemacht werden und Einschnitte tragen; in diesen werden mit Hilfe von Schrauben verschiedene Hilfsapparate befestigt, wie z. B. die Stäbe, mit denen ein oder der andere Kopfhalter desselben Autors (siehe oben) verbunden ist, Haken zum Fixieren, „Serre-pattes“ u. a. m.

Wenn das Tischbrett nicht durch Einschnitte unterbrochen ist, so ist jeder Vivisektionstisch abschüssig, nach einer Seite hin geneigt eingerichtet,

damit die Flüssigkeiten abfließen, oder er hat rinnenartige Gänge, welche zu einem Loch im Tisch führen. Zu demselben Zweck können die Ränder des Tisches etwas gehoben sein. Unten wird an den Tisch oft ein Apparat für künstliche Respiration angebracht. So ist z. B. zu diesem Zweck bei dem Tisch, welcher in unserem Laboratorium gebraucht wird, ganz niedrig über der Diele ein Brett angebracht, welches durch vier Sprungfedern festgehalten wird. Der Apparat für künstliche Atmung (vom Mechaniker Ch. Verdin in Paris) und der Elektromotor, welche an diesem Brett angebracht sind, übertragen dank diesen Sprungfedern keine Stöße auf den Tisch.

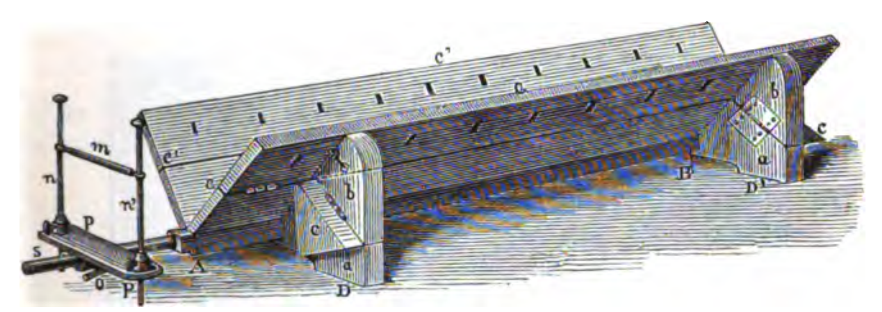


Fig. 13 A.

Unter dem Tisch kann sich auch ebenfalls ein Kasten für Instrumente befinden (Roussy).

Um eine Verunreinigung der Tiers durch das bei der Operation fließende Blut und durch andere Flüssigkeiten zu verhüten, hat Malassez[33]) vorgeschlagen, auf den Operationstisch oder das Operationsbrett einen siebartigen Metallrahmen, „lit grillagé d'opération" aufzulegen. Die Schnüre oder Stricke, mit denen das Tier angebunden wird, werden durch die Löcher, welche im Metallrahmen des Siebs sind, oder bei kleineren Tieren irgendwo in der Mitte des Siebs, durchgezogen.

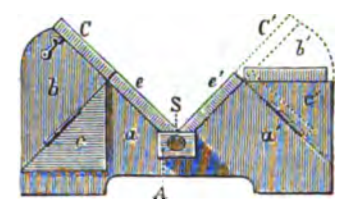


Fig. 13 B.

Um das Demonstrieren zu erleichtern, und auch zu anderen Zwecken, wird das Tischbrett bei einigen Tischen beweglich gemacht. Es wird entweder 1. das Fußende des Tischbrettes mit Angeln befestigt und das Kopfende kann dann gehoben werden (Morochowez, Roussy[34])), oder 2. die Querachse verläuft in der Mitte des Tisches und gibt so die Möglichkeit, nach Belieben das eine oder andere Ende des Tisches zu heben (der Tisch unseres Laboratoriums), oder 3. das Tischbrett hält sich auf einem Kugelscharnier und kann durch Festschrauben in der beliebigen Lage fixiert werden (Morochowez).

Schließlich kann der Tisch aus zwei selbständigen Hälften bestehen, einer vorderen kleinen und einer hinteren größeren; diese können je nach der Größe des Tiers jede einzeln oder auch beide zugleich gebraucht werden (Voinitsch-Sianogensky). Im letzteren Falle ist es, wenn man beide Hälften

des Tisches auseinander schiebt, sehr bequem, auf den Körper des Tiers Verbände anzulegen.

Wenn die Notwendigkeit besteht, das Tier warm zu erhalten, so kann man den Tisch von Rost[35]) anwenden. Unter dem Brett dieses Tisches verlaufen Bleiröhren, durch welche Wasser durchgeleitet werden kann. Das Tier wird auf ein dünnes Kissen hingelegt. Der Tisch ist für verschiedene Tiere tauglich.

Tröge (Gouttières).

Die Fälle, in denen Tröge zur Anwendung kommen, sind oben erwähnt. Cl. Bernard hat den Trog vervollkommnet und die klassische Beschreibung

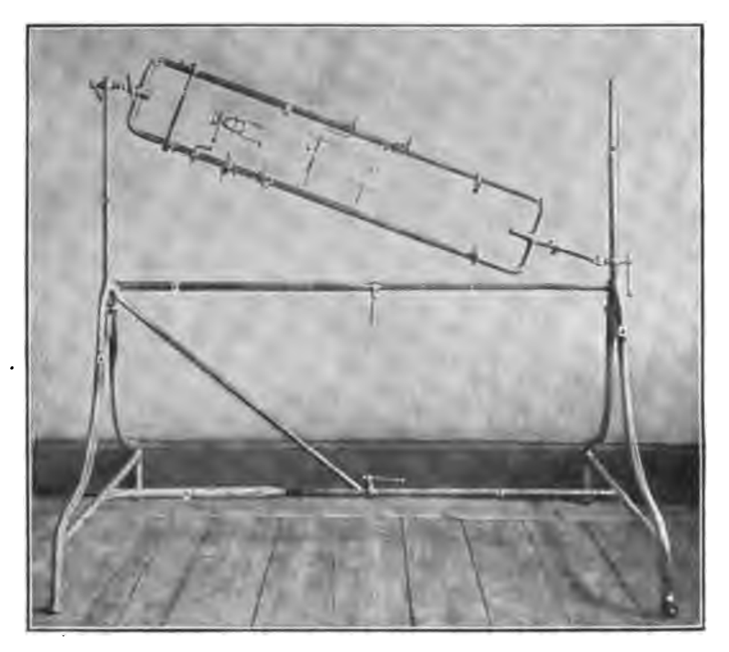


Fig. 14.

des Trogs befindet sich in den „Leçons de physiologie opératoire (S. 132) dieses Autors (Fig. 13).

Stative.

Um zu jedem Körperteil eines gut fixierten Tiers Zugang zu haben, haben Roussy und Johansson Stative vorgeschlagen.

Das Gestell für Hunde von Roussy besteht aus einem ganzen System von Querstäben, an welche das Tier mit Vaucansonschen Ketten angebunden wird. Der Kopf des Hundes wird auf folgende Weise fixiert: Am Kopfende des Gestells befinden sich zwei Metallstäbe, die in der Mitte hufeisenförmig gekrümmt sind, und zwar so, daß der obere mit der Öffnung nach oben, der untere mit der Öffnung nach unten zu liegen kommt; beide sind verschließbar und können auch an einer Stelle festgemacht werden.

Diese beiden Hufeisen bilden, wenn sie einander genähert werden, einen Ring, welcher den Hals des Tieres fest umschließt. Außerdem wird dem Hunde einer von den Kopfhaltern desselben Autors angelegt.

Das Johanssonsche Stativ besteht aus einem Rahmen für den Rumpf und einem Kopfhalter für den Kopf. Das Tier wird mit Stricken an diesen Rahmen angebunden. Der Rahmen wird mit Hilfe von Stäben, welche an seinen kürzeren Seiten entspringen, ins Stativ hineingestellt. Der Apparat ist so eingerichtet, daß der Rahmen gedreht und in einer beliebigen Lage eingestellt werden kann. Diese Stative müssen in zwei Größen vorhanden sein: einer für große Hunde und einer für kleine Hunde, Kaninchen u. dergl. (Fig. 14).

Vivisektionsbretter oder -tische mit kurzen Füßen.

Der Urtypus der Vivisektionsbretter für Kaninchen ist das Vivisektionsbrett von Czermak (Cyon, S. 37). Die Einrichtung dieses Geräts und

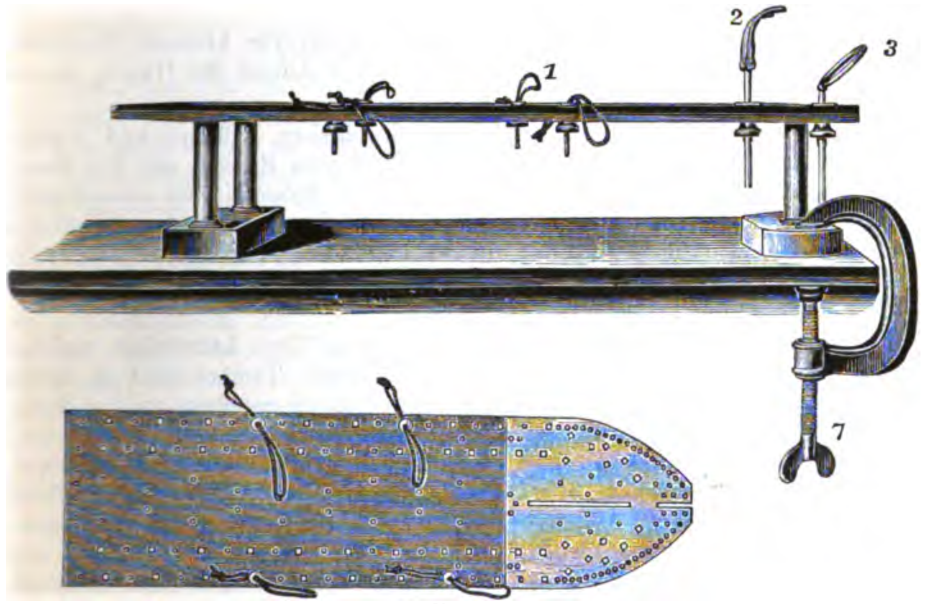


Fig. 15.

seiner zahlreichen Veränderungen besteht in folgendem: Ein nicht zu großes Brett ruht auf vier kurzen Füßen; im vorderen Ende des Brettes befindet sich eine Öffnung von einer gewissen Form; diese Öffnung kann durch eine Metallplatte verschlossen werden. Man bedient sich dieser Öffnung zur Arbeit am Hinterhaupt des Tiers u. ä. Ebenfalls am vorderen Ende des Bretts ist ein vertikal stehender Stab angebracht, mit welchem der Kopfhalter auf eine bestimmte Weise verbunden wird. Die Extremitäten des Tiers werden mit Stricken festgebunden, welche durch die Löcher, die sich am Rande des Tisches befinden, durchgezogen werden oder an die Stäbe angebunden werden.

Dietrich[36]) hat den nach dem Czermakschen Typus gebauten Tisch folgendermaßen modifiziert: Unter dem Brett befinden sich zwei Rollen, auf welche der Strick, der von den Extremitäten kommt, aufgewickelt wird. Durch eine Klemme wird die Stellung der Rollen fixiert.

Der Tisch von Cowl stellt ein paraffiniertes Eichenbrett vor, welches auf kurzen Füßen ruht, und kann für Hunde, sowie auch für kleinere Tiere und sogar für Fische und Schlangen gebraucht werden. Das vordere Ende des Tisches ist etwas enger und ist mit Metall bedeckt. Im Brett befinden sich 200 Löcher für Stricke, Haken, für den Kopfhalter (vergl. oben) usw. Die Extremitäten des Tiers werden mit Stricken an den Tisch angebunden. Cowl schlägt vor, zum Fixieren des Kopfes, des Rumpfes und der Extremitäten von Vögeln und auch von Kaltblütern Klemmgabeln bzw. stumpfe Haken zu gebrauchen, deren zwei Enden unter dem Vivisektionstisch mit Schrauben befestigt werden (Fig. 15).

Folgende Geräte sind speziell zum Fixieren von kleineren Tieren vorgeschlagen worden.

Das Tischchen oder das Brett von Roussy[37]) für kleinere Vierfüßler ist seiner Einrichtung nach dem Tisch desselben Autors für Hunde analog, hat aber nur kleinere Dimensionen.

Das Tischchen für Kaninchen, Meerschweinchen, Hühner und Tauben von Latapie[38]) gibt die Möglichkeit, das Tier vom Rücken auf den Bauch und umgekehrt umzuwenden, ohne dabei die Extremitäten loszubinden. Dieses wird dadurch erreicht, daß man zum Fixieren der unteren Extremitäten einen auf dem Tisch der Quere liegenden Metallreifen anwendet, welcher mit Fußklemmen versehen ist. Mit diesem Reifen können einige vertikale Bewegungen ausgeführt werden.

Für Meerschweinchen hat Queyrat[39]) einen Tisch konstruiert, welcher auf niedrigen Füßchen steht. Die Ränder dieses Tisches sind in Form eines ausgespannten Tiers ausgeschnitten und etwas gehoben, an der Stelle, wo das Maul zu liegen kommt, sind die Ränder stärker gehoben. Über dem Maul des auf dem Rücken liegenden Tiers befindet sich ein Griff, welcher die Möglichkeit gibt, einen Stab, der mit einer dreieckigen Platte endigt, auf den oberen Halsteil gerade zwischen den Zweigen des Unterkiefers hinabzusenken. Die Platte drückt den Kopf des Tiers an den Tisch an. Dank einer gewissen Vorrichtung kann der Stab auf einer gewissen Höhe fixiert werden. Die Pfoten des Meerschweinchens werden mit Stricken an den Tisch angebunden. Die Tiere können auch in der Bauchlage befestigt werden. Für größere Exemplare kann der Tisch auseinander geschoben werden.

Frösche.

Zum Festhalten von Fröschen dienen gewöhnlich Brettchen aus Kork, auf welchen das Tier durch Nadeln befestigt wird; diese werden in die vier Pfötchen zwischen den Fingern und vorne am Munde des Tiers hineingestochen (Cyon). Außerdem gibt es noch spezielle Bretter oder Tische für Frösche, wie z. B. das Brett von Roussy oder das Froschbrett nach Kahn mit einem Kugelscharnier, welches die Einstellung des Bretts in einer

beliebigen Lage gestattet; letzteres Gerät wird vom Mechaniker Krusich in Prag angefertigt.

Vögel.

Vögel werden entweder überhaupt nicht angebunden, sondern in Handtücher eingewickelt (Cyon), oder sie werden an einer der oben beschriebenen Vivisektionstische angebunden. Im letzteren Falle wird der Kopf durch irgendeinen Kopfhalter festgehalten. Solche Kopfhalter sind von Malassez und Roussy (siehe oben) vorgeschlagen worden.

Große Vierfüßler.

Das Festhalten von Pferden, Kühen u. dergl. wird gewöhnlich mit Hilfe von Stahlgestellen erreicht, in welchen die Tiere durch ein System von Querstäben oder von Schlingen stehend festgehalten werden. Um die Tiere hinzulegen, gibt es besondere Handgriffe und spezielle Tische (Richet, Cheval).

d) Das Immobilisieren des Tiers.

Wenn das Tier an den Tisch angebunden ist, muß es für das Operieren und fürs weitere Experimentieren tauglich und bequem zugänglich gemacht werden, und dafür ist es unumgänglich nötig, ihm die Möglichkeit der Bewegungsreaktion (im Bereiche der Skelettmuskulatur) zu nehmen; diese äußert sich teils in Bewegungen, teils im Geschrei und schließlich auch in jenem komplizierten Komplex von Erscheinungen in verschiedenen Organen (Blutzirkulation, Atembewegungen u. a.), welche die auf einen Gefühlsreiz beim Tier eintretenden Bewegungen begleiten. Ersteres und zweites beeinträchtigen sehr die Genauigkeit und Ungestörtheit der Sezierarbeit und letzteres macht den vorhandenen physiologischen Zustand des Tiers sehr kompliziert und muß unbedingt jede spezielle Analyse, die das Ziel des gegebenen Versuchs bildet, verdunkeln. Außer allem diesem kann man das natürliche Mitleidsgefühl des Menschen zu den höheren Tieren, wie z. B. zum Hunde — zum jeherigen historischen Freunde des Menschen — und zu anderen Tieren nicht außer acht lassen, denn bei vielen Vivisektionen und Experimenten haben diese viel zu leiden. Angesichts alles dessen wird ein vorhergehendes Herabsetzen der Funktion des Nervensystems nötig. Aber da auch das Nervensystem selbst in seinen verschiedenen Teilen Gegenstand der Forschung sein kann, so werden drei Hauptmodifikationen der Methode, welche eine partielle Paralyse des Nervensystems zum Ziel hat, angewandt: mechanische Beeinträchtigung der Funktion oder Zerstörung des zentralen Nervensystems, zeitweilige funktionelle Paralyse desselben Systems, welche auf chemischem Wege erreicht wird — Narkose —, und Paralyse der motorischen Nerven mittels Kurare.

Die mechanische Beeinträchtigung des zentralen Nervensystems.

Als erster Handgriff wird Druck aufs Gehirn durch eine Trepanationsöffnung im Schädel und das Durchschneiden des Rückenmarks auf der Grenze mit dem verlängerten Mark angewandt. Die Trepanationsöffnung wird auf der Schädelwölbung gemacht, und es wird ein elastischer Körper

(Schwamm oder Gummipfropf) hineingelegt; der entsprechende Druck kann durch eine Bandage unterhalten werden. Um das Erbrechen zu vermeiden, muß man hungrige Tiere nehmen. Das Tier ist vollkommen unbeweglich und zu den verschiedensten Versuchen tauglich (Claude Bernard). Diese Methode ist überhaupt selten angewandt worden und wird in letzter Zeit gar nicht angewandt, so daß kein Material vorhanden ist, wonach man über ihre Anwendungssphäre und über ihre praktische Brauchbarkeit urteilen könnte.

Das zweite Verfahren wurde vom Verfasser des vorliegenden Teils bei den Forschungen über die zentrifugalen Nerven des Herzens und über die sekretorischen Nerven der Verdauungsdrüsen angewandt und kann für die entsprechenden Versuche aufs wärmste empfohlen werden. Sein hauptsächlichster Vorteil, wie auch beim ersten Verfahren, ist der, daß in beiden Fällen kein Vergiften des Organismus, oder beim zweiten Falle nur eine flüchtig vorübergehende Vergiftung des Organismus statt hat. Unbrauchbar ist diese Methode hauptsächlich bei Versuchen mit verschiedenen Reflexen. Sie kann auf zwei verschiedene Arten angewandt werden. Entweder wird sie in reiner Form angewandt oder sie wird mit gleichzeitiger Narkose kombiniert. Im ersten Falle bindet man das Tier wie gewöhnlich auf dem Rücken liegend an den Tisch an. Darauf befreit man den Kopf aus dem Kopfhalter, umbindet den engen Teil der Schnauze mit einer Schnur und beugt den Kopf zur Brust hin, wobei man ihn zugleich nach Möglichkeit emporhebt, damit der Hals einen Kreisbogen mit einem möglichst großen Radius beschreibt. Der Kopf des Tiers muß in kräftigen Händen unbeweglich in der richtigen Lage, d. h. längs der Mittellinie des Körpers, ohne nach rechts oder links abzuweichen, gehalten werden. Nachdem der Operierende das Tuberculum occipitale durchgefühlt hat, beginnt er zuerst, von ihm aus nach unten hin, mit einem 5—6 cm langen Hautschnitt. Ein zweiter stärkerer Schnitt, von demselben Tuberculum aus, führt direkt bis zum Ligamentum atlanto-occipitale und zu den Wirbeln; dabei richtet man sich nach dem mittleren Aponeurosenstrang zwischen den Nackenmuskeln. Jetzt wird durch eine dritte und vierte Querbewegung des Messers, welche unter der Kontrolle des Zeigefingers der anderen Hand vollzogen werden, das Ligamentum breit durchschnitten und durch die so gemachte Öffnung sofort der Finger zum Durchquetschen des Markes hineingeführt. Da hierbei eine recht beträchtliche Blutung eintreten kann, müssen Wattetampons und Klemmpinzetten oder Peansche Pinzetten zum raschen Schließen der Hautwunde bei der Hand sein. Die Operation kann bei einiger Fertigkeit in einigen Sekunden gemacht werden. Gleich darauf macht man ebenso rasch die Tracheotomie, um sofort künstliche Atmung einzuleiten. Diese ganze Prozedur kann vollkommen glatt verlaufen.

Es ist einfacher, mit einer raschen Chloroformnarkose zu beginnen, um alles oben Beschriebene mit weniger Eile und mehr Ruhe zu vollziehen. Eine rasche und kurze Narkose vergeht bald, ohne irgendwelche Spuren zu hinterlassen. Bei der Narkose ist es besser, mit der Tracheotomie zu beginnen. Hinsichtlich des Kopfs des so operierten Tieres ist folgendes zu bemerken. Erstens macht der Kopf fortwährend Schluckbewegungen, wahrscheinlich infolge des andauernden Reizes des oberen Endes der Markwunde.

Durch dieses Schlucken werden große Massen Luft in den Magen befördert, welche ihn bis zu enormen Dimensionen aufblasen. Um dem zu entgehen, ist es nötig, sofort nach der Tracheotomie den Ösophagus am Halse zu unterbinden. Zweitens ist Grund vorhanden zur Voraussetzung, daß der Kopf, ungeachtet der groben traumatischen Schädigung des Markes, noch höherer Gehirntätigkeit fähig sei. Daher muß man, um unnütze Qualen des Tiers zu vermeiden, durch das Foramen occipitale eine mehr oder weniger beträchtliche Zerstörung des Großhirns vornehmen. An einem so operierten Tiere kann der Versuch mehrere Stunden — 5 und 10 Stunden lang — fortgesetzt werden. Bei solchen Tieren fällt der Blutdruck nicht so niedrig wie bei vergifteten Tieren, und außerdem fällt er langsam im Verlaufe des ganzen Experiments.

Die Narkose.

Das Verfahren, welches seiner Verbreitung nach an erster Stelle steht, ist die zeitweilige funktionelle Paralyse des zentralen Nervensystems — die Narkose. Da diese gleichwertig, sowohl bei chirurgischen Operationen als auch bei Vivisektionen, angewandt wird, so soll sie hier im ganzen Umfang ihrer physiologischen Anwendung besprochen werden. Indem ich hinsichtlich der Literatur und der Analyse dieses Gegenstands, wie sie sich uns zur gegenwärtigen Zeit darbieten, auf die Handbücher der Pharmakologie verweise, werde ich mich hier auf ein wesentliches praktisches Resumé hinsichtlich der Versuchstiere beschränken.

Bei keinem einzigen von den Narkosemitteln ist der Physiologe gegen die Gefahr, dem Tier den Tod zu bereiten, völlig sicher; dieses gilt sowohl für vollkommen frische Tiere, welche zum erstenmal operiert werden, als auch in viel höherem Grade für solche Tiere, die infolge früherer Operationen oder irgendwelcher anderer experimenteller Eingriffe Abweichungen von der Norm erlitten haben. Der Tod eines Versuchstiers, besonders bei chirurgischen Operationen, kann dem Experimentator oft sehr teuer zu stehen kommen, wenn das Tier zur Operation durch wochen- und monatelange Voruntersuchungen und Beobachtungen bereitet worden ist. Der Tod unter der Narkose kommt bei Tieren viel öfter vor als bei Menschen. Neben der größeren Empfindlichkeit der Tiere zu diesen Mitteln spielt hier wohl auch das gewöhnliche Fehlen einer Voruntersuchung des Tiers auf den Zustand seiner wichtigsten Organe vor der Anwendung der narkotischen Mittel und zweitens des Fehlens einer fortwährenden Kontrolle des Zustandes des vergifteten Tiers, d. h. einer fortwährenden speziellen Beobachtung des Atmens und des Pulses des Tiers während der ganzen Dauer der Narkose, eine gewisse Rolle. Deswegen müssen, wenn das Tier einen ganz besonderen Wert hat, diese beiden Verfahren vorgenommen werden. Wenn ein und dasselbe Tier zum wiederholten Male operiert wird, ist es zweckmäßig, den ganzen Gang und die Details der ersten Narkose anzuschreiben, denn Tiere derselben Art verhalten sich zur Narkose sehr verschieden und die frühere Erfahrung an demselben Tier gibt sehr wichtige Anhaltspunkte. In einigen Fällen, wo es sich um kleine Nachoperationen an Tieren von sehr hohem Wert handelt und irgendein Zweifel hinsichtlich der absoluten Ungefährlichkeit der Narkose besteht, ist es vernünftiger, das

Tier dem Schmerze zu unterziehen und sich selbst die Unannehmlichkeit zu bereiten, ohne Narkose zu operieren. Schließlich mag die Möglichkeit einer zufälligen Untauglichkeit der angewandten Präparate nicht unerwähnt bleiben. Daher ist es im Falle eines unerwarteten Todes des Tiers von Nutzen, auch die Kontrolle der Reinheit der Präparate vorzunehmen, um einer Wiederholung derartiger Fälle vorzubeugen.

An der Spitze der narkotischen Mittel, besonders für chirurgische Operationen, stand und wird wohl auch noch lange in der Physiologie das Chloroform stehen. Indem es hinsichtlich der Bequemlichkeit des Operierens bei völliger Reaktionslosigkeit des Tiers, hinsichtlich des raschen Eintretens dieses Zustandes und hinsichtlich einer raschen und vollkommenen Wiederherstellung des Tiers nach dem Aufhören der Narkose nichts zu wünschen übrig läßt, verlangt es aber viel Mühe und Aufmerksamkeit, um einem zufälligen Tode vorzubeugen. Die Ursachen des Todes liegen bald im Atmungs-, bald im Herzstillstand, wobei sie bald durch reflektorischen Reiz, bald durch eine Paralyse hervorgerufen werden können. Der durch reflektorischen Reiz hervorgerufene Atmungsstillstand findet sich am öftesten im Anfang des Chloroformierens und frühzeitiges Aufhören oder schwächeres Chloroformieren beseitigen ihn mit Leichtigkeit. Paralysen treten im weiteren Verlauf des Chloroformierens ein und entwickeln sich gewöhnlich allmählich nach einer Reihe vorhergegangener Zeichen: Atmungsstillstand — Schwächerwerden und Verlangsamung des Atmens, oder Atmungsunregelmäßigkeiten in dieser oder jener Hinsicht; Herzstillstand — allmähliches Sinken der Arterienspannung, Schwächerwerden und Verlangsamung des Pulses. Frühzeitig bemerkt, müssen diese Zeichen sofort zum Abschwächen oder auch zu sofortigem, völligem Aufhören des Chloroformierens führen. Der schon eingetretene Atmungsstillstand bei fortdauernder Herztätigkeit kann beinahe immer durch mehr oder weniger lange fortgesetzte künstliche Atmung mittels rhythmischen Zusammenpressens des Brustkorbes zugleich mit rhythmischem Hervorziehen der Zunge beseitigt werden. Es wäre als große Seltenheit zu betrachten, wenn diese Maßregeln einen im Stiche ließen. Ganz anders verhält es sich beim Herzstillstand. Im Gegensatz zum eben Gesagten führen hierbei nur in seltenen Fällen lange fortgesetztes künstliches Atmen und absichtliches Zusammenpressen, Auspressen des Herzens, soweit es von außen zu bewerkstelligen ist, zur Wiederbelebung der Herztätigkeit. Und dieses ist auch nur in den Fällen möglich, wenn der Herzstillstand infolge allmählicher Abnahme der Herztätigkeit eintritt. Wenn hingegen das Herz plötzlich und ziemlich unerwartet still steht, so ist die Sachlage beinahe immer eine hoffnungslose.

Von den gewöhnlichen Versuchstieren wird Chloroform vom Kaninchen ganz besonders schlecht vertragen.

Was die Prozedur des Chloroformierens anbetrifft, so wird sie bei großen Tieren und bei den chirurgischen Operationen gewöhnlich mittels eines Maulkorbes oder einer Maske, welche auf den vorderen engeren Teil des Kopfes vom Tier angezogen oder an ihn gehalten wird, vollzogen. Für Hunde wird der Maulkorb von Claude Bernard gebraucht (Fig. 16), er hat die Form eines Kegelstumpfes, welcher mittels kleiner Riemen am Kopfe des Tiers befestigt wird und an seinem vorderen Ende einen abnehmbaren

Teil besitzt, in welchen ein mit Chloroform getränkter Schwamm hineingelegt wird. Der Schwamm liegt zwischen zwei durchlöcherten Lamellen, welche einerseits der Luft freien Zutritt gewähren, andererseits die Berührung des Chloroformschwammes mit der Nase des Tiers verhindern.

Für alle Tiere wird öfter eine Maske, welche nach dem Vorbilde der v. Esmarchschen Maske zum Chloroformieren von Menschen gemacht ist, angewandt. Die Maske kann aus einem Drahtgerüst bestehen, welches mit Flanell bedeckt wird; die Größe und die Form der Maske wird der gegebenen Tierart angepaßt. Das Chloroform wird auf die Maske in kurzen Strahlen oder tropfenweise aus einem gewöhnlichen zum Chloroformieren von Menschen gebräuchlichen, kalibrierten Fläschchen gegossen; dieses ist durch einen Pfropf verschlossen, welcher mit zwei engen Röhrchen versehen ist, fürs Eintreten der Luft ins Fläschchen und fürs Ausfließen des Chloroforms. Beim angegebenen Verfahren dringt das Chloroform zusammen mit der Luft in die Lungen ein. Was die Proportion des Chloroforms anbetrifft, so ist

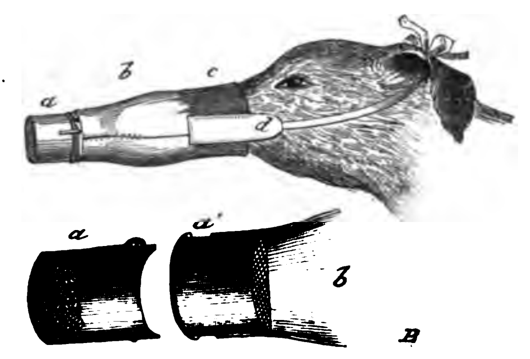


Fig. 16.

ein gewisses mittleres Verhältnis am zweckmäßigsten, denn bei starker Konzentration des Chloroforms tritt die Vergiftung zu rasch ein und wird deshalb ganz besonders gefährlich. Andererseits tritt bei zu langsamer Zufuhr von Chloroform die Narkose sehr langsam ein, das Erregungsstadium wird sehr verlängert und die Chancen eines gefährlichen Zufalls werden größer. Am vorteilhaftesten ist es, das Chloroformieren energischer anzufangen, und wenn die Narkose begonnen hat, sie mit kleineren Dosen aufrecht zu erhalten.

Da die Tiere sich zum Chloroform verschieden verhalten, so wird die verhältnismäßige Dosierung am besten durch Beobachten des Zustandes des gegebenen Tiers während der Narkose bestimmt. Natürlich wäre es am richtigsten, titriertes Chloroform- und Luftgemenge anzuwenden, um so der Gefahr zu großer Konzentrationen sicher zu entgehen. Aber erstens können auch sehr schwache Konzentrationen, die sogar keine volle Anästhesie geben, bei lange dauernder Anwendung das Tier töten und zweitens haben dementsprechende Apparate nicht so einen Grad von Einfachheit und Billigkeit erreicht, um bei Menschen eine stete und allgemeine Anwendung zu finden, und dieses gilt natürlich erst recht bei Hunden. Einige solche Apparate

werden im Kapitel über künstliche Atmung angeführt werden. Eine wesentliche, zum raschen Eintritt einer tiefen Narkose nötige Bedingung ist das Fernhalten jeglicher Reizwirkungen vom Tier während der Entwicklung der Narkose.

Als Zeichen des Eintritts einer vollen Narkose dienen das Verschwinden des Reflexes beim Berühren des Auges und die vollkommene Passivität der Gliedmaßen des Tiers.

Nicht zu große Tiere, die sich besonders stark dem Anbinden an den Operationstisch widersetzen, werden in verschlossenen Räumen chloroformiert, z. B. unter einer Glasglocke, unter welche ein Schwamm oder Watte mit Chloroform gelegt ist.

Frösche und Wassertiere können in Wasser, in welchem eine gewisse Menge Chloroform gelöst ist, chloroformiert werden.

Das zweite gewöhnliche narkotische Mittel ist Äther. Die alte Frage der Menschenchirurgie, ob Chloroform oder Äther, bleibt auch bis zur Gegenwart ohne allgemein anerkannte Antwort. Dasselbe findet man auch im Laboratorium. Wenn auch Äther etwas weniger gefährlich ist als Chloroform, so ist es gerade den Physiologen nicht leicht, dieses an ihrem alltäglichen Material zu konstatieren wegen des Fehlens jeglicher Statistik. Es ist aber kaum anzunehmen, daß der Äther Chancen habe, das Chloroform aus der physiologischen Praktik zu verdrängen. Beim Äther entwickelt sich die Narkose langsam, ihr Eintritt wird von einer sehr langen Erregungsperiode begleitet und es ist viel schwerer, die Narkose auf ein und derselben genügenden Tiefe zu erhalten. In Anbetracht dessen findet er hauptsächlich bei den Tieren Anwendung, welche das Chloroform sehr schlecht vertragen. Andere flüchtige narkotische Mittel haben in der Physiologie keine irgendwie bedeutendere Anwendung.

Nicht flüchtige narkotische Mittel wie Chloralhydrat, Alkohol, Paraldehyd, Urethan u. a. sind in ihrer Anwendung schon mehr begrenzt. Wenn man mit ihrer Hilfe eine volle Anästhesie und völlige Reaktionslosigkeit des Tiers erzielen will, so muß man bis zu sehr großen toxischen Dosen gehen. Infolgedessen wird ihre Anwendung bei chirurgischen Operationen in der Physiologie immer nicht so oft sein. Das Hauptgebiet ihrer Anwendung ist — die Vivisektion.

An der Spitze der nicht flüchtigen narkotischen Mittel der Fettreihe steht seiner Verbreitung nach das Chloralhydrat. Dessen Lösungen werden in den Magen und ins Rektum eingeführt oder direkt ins Blut (5% starke Lösung und sehr langsam um die Reizung des Endokardiums und Aufhören der Herztätigkeit zu vermeiden) oder in die Bauchhöhle eingespritzt. Die stärkste Wirkung übt das Chloralhydrat aufs Atemzentrum aus und bei der Vivisektion kann diese Wirkung durch eingeleitetes künstliches Atmen leicht kompensiert werden. Die allmählich sich entwickelnde Paralyse des vasomotorischen Zentrums, welche sich in immer niedrigerem Sinken des Blutdrucks bis zu minimalen Größen äußert, ist jedoch kein bedrohendes Zeichen. Nach den Erfahrungen der Tierärzte erweist sich das Chloralhydrat als sehr befriedigendes narkotisches Mittel bei chirurgischen Operationen an Pferden. Dosierung: für Hunde in den Magen oder ins Peritoneum 0,25—0,30 g pr. K. und ins Blut 0,1—0,15 g pr. K., für Katzen und Kaninchen entsprechend $1^1/_2$—2 mal weniger.

Ein altes narkotisches Mittel, welches auch noch jetzt, besonders für Vivisektionen gebraucht wird, ist das Morphium. Von allen vorhergehenden narkotischen Mitteln unterscheidet es sich scharf dadurch, daß es die Reflextätigkeit nicht nur nicht vollkommen paralysiert, sondern sie in großen Dosen sogar erhöht, und besonders bei einigen Tierarten sogar Krämpfe hervorruft. Indessen findet seine narkotische Wirkung mit speziell stark ausgedrückter Analgesie, besonders bei gewissen Tierarten bis jetzt weite Anwendung in der Physiologie sowohl bei Vivisektionen als auch bei chirurgischen Operationen. Es wird in Form von 1—3 %igen Lösungen gewöhnlich seiner salzsauren Salze angewandt, die Lösungen werden subkutan oder in eine kleine Vene eingespritzt. Im ersten Falle tritt einige Minuten nach der Einspritzung gewöhnlich Erbrechen ein und nach 10—20 Minuten, je nach der Dose, schläft das Tier ein. Im zweiten Falle tritt nach einigen Sekunden ein starkes Erregungsstadium ein, welches ebenfalls einige Sekunden anhält, und darauf tritt rasch die Narkose ein. Wenn hierbei das Exzitationsstadium auch noch so stark sein mag, so fügt es seiner kurzen Dauer wegen dem Tier keinen bemerkbaren Schaden zu. Nachdem man einige Minuten (5—10) abgewartet hat, bis die Narkose tiefer wird, und bis die Respirations- und Zirkulationsstörungen, die während der Erregung und bei der Maximalwirkung des plötzlich eingeführten Mittels eingetreten sind, sich ausgeglichen haben, kann man zu Werke gehen. Bei einiger Gewohnheit können eine Masse von Vivisektionen und auch chirurgische Operationen in diesem Zustand des Tiers vorgenommen werden. Man muß nur starke Geräusch- und Berührungsreize (an der Haut des Tiers) vermeiden. Ein Tier, welches sich besonders gut zur Morphiumnarkose eignet, ist der Hund, viel weniger eignet sich dazu die Katze und gar nicht das Meerschweinchen. Dosierung des Morphiumchlorhydrats für Hunde ins Blut 0,005—0,01 g pr. K., für Kaninchen entsprechend 2—3 mal mehr.

In neuerer Zeit wird das Einführen von Chloralose ins Blut sehr empfohlen (Ch. Richet[49]). Sie hebt die Schmerzempfindung auf und beeinflußt dabei nicht die Atmungs-, Herz- und Gefäßreflexe und findet daher ihre Anwendung bei Vivisektionen. Ein Übelstand ist die geringe Löslichkeit in Wasser. Dosierung für Hunde 0,1 g pr. K., für Katzen entsprechend 0,001 g.

Als bester Beweis dafür, daß ein zeitgemäßer Physiologe bei den Aufgaben, die er sich stellt, durch keines von allen angeführten Mitteln vollkommen zufrieden gestellt wird, kann der Umstand betrachtet werden, daß gegenwärtig meistenteils gemischte Narkosen angewandt werden, welche durch die Wirkung von einigen narkotischen Mitteln, von zwei, drei ja sogar von vier Mitteln hervorgerufen werden. Man kann sich wohl Rechenschaft geben vom Sinne einer oder der andern Kombination, vom Ziel, welches ihr Autor dabei verfolgt, aber es ist ganz unmöglich eine ganz sachliche, vollkommen unparteiische und ganz allgemein anerkannte Schlußfolgerung über die vergleichende Tauglichkeit dieser oder jener Kombination auszusprechen. Es existiert kein exaktes Material für so eine Aussage. Es beläuft sich die Sache meistens auf die Gewohnheit oder auf die Traditionen einzelner physiologischer Arbeiter oder ganzer Schulen.

Die älteste Kombination, welche auch bis jetzt noch sowohl in den

physiologischen Laboratorien als auch in der Menschen-Chirurgie angewandt wird und sich folglich genügend bewertet hat, ist die Kombination von Morphium und Chloroform — eine Kombination, auf welche zuerst von Nussbaum hingewiesen worden ist und welche später von Claude Bernard sehr empfohlen worden ist. Gewöhnlich wird das Morphium im voraus entweder subkutan oder direkt ins Blut eingespritzt. Nachdem der Schlaf eingetreten ist und sich die Störungen der Atmung und des Blutkreislaufs ausgeglichen haben, die besonders nach dem Einspritzen von Morphium direkt ins Blut sehr stark sind, schreitet man ans Chloroformieren. Die Vorteile einer solchen Narkose sind: das Ausbleiben eines Erregungsstadiums beim Chloroformieren, eine Verminderung der Chloroformmenge zum Erreichen einer völligen Anästhesie und eine gleichmäßigere, länger dauernde Narkose.

Dastre[41]) hat die Kombination von Atropin, Morphium und Chloroform eingeführt (10 Minuten vor dem Chloroformieren 0,01 g Morphiumchlorhydrat und 0,001 g Atropinsulfat pr. K. unter die Haut). Das Atropin wird mit der Berechnung angewandt, um die Erregbarkeit der die Herztätigkeit verlangsamenden Fasern herabzusetzen, und so die Möglichkeit eines plötzlichen Herzstillstandes wegen der Erregung im Anfang des Chloroformierens auszuschließen. Das Morphium soll in dieser Kombination als Gegenmittel des Atropins dessen physiologische Wirkung mäßigen. Diese Methode hat die meisten Anhänger in Frankreich gefunden.

Schon längst ist von Billroth eine Mischung von 3 Teilen Chloroform, einem Teil Äther und einem Teil Alkohol absolutus vorgeschlagen worden. Ohne besondere Anwendung in der Menschenchirurgie gefunden zu haben, wird diese Mischung in letzter Zeit für physiologische Untersuchungen viel angewandt. Dabei geht der Anwendung dieser Mischung für die Narkose oft ein Einführen nicht flüchtiger narkotischer Mittel — Morphium, Paraldehyd u. a. — voraus. Bei dieser Narkose wird das Bestehen eines vollkommen unbehelligten Blutdrucks besonders hervorgehoben. Einige Autoren empfehlen auch sehr die Mischung von Chloral mit Morphium.

In der allerletzten Zeit wird von Krawkow[42]) eine Kombination von Hedonal mit Chloroform ganz besonders empfohlen. In Übereinstimmung mit dem Vorhandensein einer Amidogruppe im Hedonal ist laut diesem Autor die Wirkung der Kombination auf die Atmung, auf die Herztätigkeit und auf den Blutdruck eine viel günstigere als die vom Chloroform allein. Das Hedonal wird in Wasserlösung in einer Menge von 0,2—0,25 pr. K., 2—3 Stunden vor dem Chloroformieren mittels einer Sonde in den Magen eingeführt.

Ich werde keine weiteren Kombinationen anführen, weil sie nur seltener oder geradezu vereinzelt bei gewissen physiologischen Versuchen angewandt werden.

Das Kurare.

Sowohl das Durchtrennen des Rückenmarks als auch die Narkose machen es unmöglich, die Reflexerscheinungen zu untersuchen, oder schränken mehr oder weniger die Untersuchung dieses so großen Gebiets der physio-

logischen Forschung ein und erschweren sie. In dieser Hinsicht hat das Kurare große Dienste geleistet, dieses übt paralytische Wirkung auf die Endigungen der motorischen Nerven aus und beseitigt auf diese Weise bei den physiologischen Versuchen die kolossale und vielseitige Rolle der Skelettmuskulatur im Organismus.

Leider haben die Kurarepräparate als Gemisch des Rindenextrakts verschiedener Pflanzen der Strychnosarten, welches von den Indianerstämmen Südamerikas bereitet wird, keine bestimmte Zusammensetzung und sind in ihrer Wirkung nicht sehr beständig. Und in den letzten 10—20 Jahren sind besonders oft unwirksame Präparate vorgekommen. Die Kurarepräparate werden in 3 verschiedenen Formen hergebracht, in Bambusröhrchen, in Kürbisschalen und in Tontöpfchen. Nach Boehm[43]) soll das letzte Präparat sich ganz besonders durch die Unbeständigkeit seiner Wirkung auszeichnen, augenscheinlich wird es falsifiziert. Als zuverlässigstes gilt das Kürbis-Kurare, eine Zeitlang war es aus dem Handel ganz geschwunden und ist danach wieder erschienen. Was die Präparate anbetrifft, welche in kleinen Portionen von verschiedenen europäischen Fabriken geliefert werden, so muß gesagt werden, daß die Aufschrift, welche von der Wirkungsprüfung dieser Präparate zeugt, durchaus keine Garantie vor einer vollkommenen Untauglichkeit dieser Präparate bietet. Das Alkaloid des Kurare, welches Boehm[44]) aus den Kurarepräparaten ausgeschieden hat, ist entweder zu teuer oder es ist in den Preisverzeichnissen der besten chemischen Fabriken überhaupt nicht verzeichnet.

Bei Dosen, welche für die Lähmung der Skelettmuskulatur genügen, kann man beim Kurare die anderen Tätigkeiten des Organismus beinahe ganz ungeschädigt haben, denn die Lähmung der hemmenden Herznerven, der Vasomotoren und der Sekretionsnerven tritt erst bei bedeutenderen Dosen ein, bei kleinen Dosen hingegen fehlt sie vollkommen oder trägt nur einen flüchtigen rasch vorübergehenden Charakter. Dazu besteht in dem Verhalten zu diesen Nebenwirkungen ein Unterschied zwischen den verschiedenen Versuchstieren (J. Tillie[45])). Die herzhemmenden Fasern sind zum Kurare am empfindlichsten bei der Katze und am wenigsten wirkt es auf sie beim Kaninchen. Beim Kaninchen ist auch die Senkung des Blutdrucks als Zeichen einer zeitweisen Lähmung der Gefäßnerven beim intravenösen Einspritzen des Kurare am wenigsten ausgedrückt. Beim Kaninchen überwiegen im Gegenteil die Erregungserscheinungen des Rückenmarks, so daß man bei einem kurarisierten Kaninchen oft spontane Steigerungen des Blutdrucks beobachtet, welche die Blutdruckkurve zu einer sehr unregelmäßigen machen und sogar die Möglichkeit in dieser Periode, Versuche mit dem Blutdruck anzustellen, vollkommen ausschließen. Daher wendet man beim Kaninchen sehr große Dosen Kurare an, die den Blutdruck erheblich herabsetzen, aber dafür eine regelmäßige Blutdruckkurve geben.

Obgleich alle Autoren einstimmig das Faktum bestätigen, daß nach dem Kurare die verschiedenen Teile der Skelettmuskulatur nach und nach paralysiert werden, wobei als letzte die Atemmuskulatur und speziell das Diaphragma gelähmt wird, so macht man in der Praxis dennoch selten von diesem Umstande Gebrauch und zieht es vor, die Muskulatur des Tiers

vollständig zu vergiften und die natürliche Atmung durch künstliche zu ersetzen. Die Kurarelösung wird meistens direkt ins Blut eingespritzt, aber demnächst wird auch das Einspritzen ins subkutane Gewebe angewandt. In dem Falle, wenn man in eine Pfote eingespritzt hat, kann man durch festes Umschnüren der Pfote mit einem Kautschukröhrchen das Eintreten des auf einmal in großer Menge eingespritzten Giftes in den Organismus graduieren (Claude Bernard).

e) Die Vivisektion.

Wenn das Tier am Tisch befestigt ist und seines Bewegungsvermögens beraubt ist, schreitet man zum Operieren; dabei muß man zum vollen Erfolge des vorgenommenen Versuchs sich durch folgende drei Regeln bestimmen lassen: erstens ist eine sorgfältige anatomische Kenntnis der Stelle, welche präpariert werden soll, erforderlich; diese muß vorher an Leichen der entsprechenden Tiere erworben sein. Zweitens muß man Blutungen aufs sorgfältigste vermeiden und mit allen Mitteln stillen, um die ganze Zeit das Arbeitsfeld rein und klar vor sich zu haben, und drittens muß man den Schnitt und die Zertrennung der Teile in solchen Maßen vollziehen, damit es möglich sei, bequem und weit das Operationsfeld und das Feld des weiteren Experimentierens zu übersehen und auf diese Weise von vorn herein in jedem Augenblick richtig und zielbewußt zu arbeiten. Was die Frage anbetrifft, ob man rasch vorgehen soll und sofort bis zum gesuchten Teil durchschneiden soll oder ob man sich langsam vorwärts bewegen, schichtenweise und vorsichtig schneiden soll, so wird dieses durch die Erfahrung des Operierenden, durch die Sicherheit des Auges und der Hand und durch sein Temperament bestimmt und es läßt sich hierfür keine allgemeine Regel aufstellen.

Was den Gang des Operierens des lebendigen Organismus selbst anbetrifft, so mag er in folgenden allgemeinen flüchtigen Zügen dargestellt sein. In der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle wird der Anfang der Operation, der Hautschnitt mit Messern von der verschiedensten Form und Größe je nach dem Schnitt, nach der Lage des Messers in der Hand, nach persönlichem Behagen und den Gewohnheiten des Experimentators vorgenommen. Gewöhnlich wird das Messer in der Hand durch drei verschiedene Griffe festgehalten. Erstens so, wie man das Messer im alltäglichen Leben gebraucht, d. h. indem man mit dem Zeigefinger aufs stumpfe Ende des Messers daraufdrückt. So tut man es bei starken und langgezogenen Schnitten. Zweitens, kann man das Messer wie einen Federstock halten. So tut man es hauptsächlich, wenn man mit der Spitze des Messers schneidet, wo man kurze Schnitte auszuführen hat. Schließlich hält man noch das Messer wie einen Geigenbogen, wenn man besonders oberflächlich auf geringe Tiefen schneiden muß. Die weitere Trennung der Teile besorgt man mit Messern, Scheren, Pinzetten und verschiedenen beim Präparieren gebräuchlichen geraden oder verschiedenartig gekrümmten, mehr oder weniger spitz oder stumpf endigenden Nadeln. Die Wahl des zur Zertrennung benutzten Instruments wird durch die Eigenschaften des zu zertrennenden Gewebes bestimmt. Die lockeren Gewebe werden mittels

Pinzetten oder Nadeln zerrissen, die festeren mit Messern oder Scheren durchschnitten; streifenförmiges und geschichtetes wird mit Scheren oder mit dem Messer längs der Rinnensonde, kontinuierliche Massen mit Messern durchschnitten. Pinzetten und Nadeln sind immer dort am Platz, wo man vorsichtig vorgehen muß und sich vor dem Zerstören von Blutgefäßen und Nerven zu hüten hat, wenn man auch mit Messer und Schere schneller zum gesetzten Ziel kommen könnte. Wenn man mit dem Zertrennen der Gewebe weiter in die Tiefe geht, ist es nötig, die Ränder der Wunde auseinander zu schieben und sie so festzuhalten. Natürlich kann das ein Gehilfe tun, aber es ist vorteilhafter auch hier, wenn es nur möglich ist, nur Instrumente zu benutzen. Die Ränder der Hautwunde werden immer am einfachsten mit Haken auseinander gehalten, diese werden durch Schnüre mit Gewichtchen an den Enden und welche vom Operationstische hinunterhängen, auseinander gezogen. In anderen Fällen werden spezielle Auseinanderschieber in der Art, wie sie in der Augenpraxis zum Auseinanderschieben der Augenlider gebraucht werden, angewandt.

Um die Lippen großer Wunden und die Ränder der Körperhöhlen auseinander zu halten und große Organe zur Seite zu schieben, werden Instrumente von sehr verschiedener Form benutzt; sie sind meistens unter einem rechten Winkel gebogen und bestehen aus einem Teil, welcher als Handgriff dient, und einem andern Teil, der in die Wunde eingeführt wird, letzterer kann massiv sein oder aus einzelnen Streifen, gleichsam Fingern bestehen. Das Hervorholen aus der Tiefe und das Emporheben verschiedener Organe und zu präparierender Teile wird entweder mit Hilfe von Pinzetten oder verschiedenen Haken oder mit gekrümmten Nadeln bewirkt. Wenn irgend ein Teil lange Zeit festgehalten werden soll, so werden Pinzetten angewandt, die mit Verschlüssen versehen sind: Torsionspinzetten, Peansche Pinzetten. Letztere müssen, weil sie hinsichtlich ihrer Konstruktion, wenn es gilt, irgend was zu ergreifen und festzuhalten, nichts zu wünschen übrig lassen, ganz besonders warm empfohlen werden. Zum Durchziehen der Ligaturen unter den präparierten Teilen (Nerven, Blutgefäße usw.) benutzt man gerade oder besser entsprechend gebogene Pinzetten oder gebogene Nadeln mit einem Löchchen am Ende oder eine etwas gebogene Nadel mit einer stecknadelkopfgroßen Verdickung am Ende (Verfasser hat letztere bei Prof. Brodie in London gesehen; sie ist besonders bequem, um Ligaturen durch Öffnungen in dünnen Membranen hindurchzuziehen). Zum Einführen von Kanülen in angeschnittene Röhrchen (Ausführungsgänge von Drüsen, Blutgefäße u. dgl.) bedient man sich eines unter einem rechten Winkel gebogenen Hakens, welcher auf seiner Rückenseite eine kleine Rinne trägt. Um Flüssigkeiten in der Tiefe der Wunde oder in den Höhlen aufzusaugen, benutzt man Stiele, welche am anderen Ende mit Klemmen versehen sind, mit denen das Tupfmaterial (Watte, Schwämme u. dgl.) festgehalten wird.

Speziell zum Entfernen der Gehirnmasse werden Löffel mit scharfen Rändern gebraucht.

Zum Zerstören der Knochen nimmt man verschiedenartig geformte und verschieden große Zangen, Sägen, sowohl gerade als auch ringförmige (Trepane), und Meißel.

Eine Menge verschiedener, besonderer Häkchen, Nadeln, Beile an langen Griffen zum Zerschneiden verschiedener Teile in der Tiefe und ohne Kontrolle des Auges, von denen besonders viele von Claude Bernard stammen, finden heutzutage wenig Anwendung, denn die zu große Ungewißheit der Arbeit überwiegt über der Leichtigkeit ihres Gebrauches.

Zum Einführen verschiedener Flüssigkeiten in verschiedene Punkte des Organismus (unter die Haut, ins Blut usw.) gebraucht man Spritzen. Wegen der besonderen Forderungen, welche man an sie zur Gegenwart stellt, haben diese Instrumente besonders viel Veränderungen und Vervollkommnungen erfahren und ihrer Beschreibung wird daher unten ein besonderer Platz gewidmet.

Gegenwärtig müssen alle Instrumente, da die peinlichste Reinheit gefordert wird, nur aus Metall gearbeitet sein.

Das Stillen von Blutungen.

Beim Sezieren und Zertrennen der Teile des Organismus ist es eine wichtige Aufgabe, keine Blutungen zuzulassen oder die schon eingetretenen Blutungen rasch zu stillen. Als Grundregel gilt hierfür die Vorsicht beim Präparieren und das vorhergehende Unterbinden eines jeglichen bedeutenden Blutgefäßes. Wenn die Blutung infolge des Durchschneidens oder Durchreißens eines Blutgefäßes eingetreten ist, so ergreift man die blutende Stelle mit verschiedenen Pinzetten, mit einfachen oder mit schließenden Pinzetten (Klemmpinzetten, Torsionspinzetten oder Peanen). Darauf legt man eine Ligatur, entweder um das abpräparierte geschädigte Gefäß oder en masse; wenn aber weder das eine, noch das andere Verfahren wegen eines massiven nicht nachgebenden Gewebes unmöglich ist, so umsticht man die blutende Stelle und zieht somit eine Ligatur fest. Wenn man es mit weichen Geweben und kleinen Blutgefäßen zu tun hat, so benutzt man statt des Durchschneidens das Abdrehen, aber auch hier ist eine Ligatur ihrer größeren Sicherheit wegen vorzuziehen. Alle übrigen Verfahren zum Blutstillen: das einfache Tamponieren, das Tamponieren mit Benutzung von blutstillenden Stoffen, gefäßverengernde Stoffe (Adrenalin), das Kauterisieren mit dem Paquelinschen Thermokauter haben entweder eine untergeordnete oder sogar eine negative Bedeutung. Erstens sind diese Blutstillungen meistens keine sicheren, denn es treten nachfolgende Blutungen ein, und zweitens verschmieren einige von diesen Verfahren sehr die Wunde und erschweren das weitere genaue Operieren sehr. In vielen Fällen erleichtert indessen das Operieren mit dem Thermokauter den Versuch in hohem Grade, da man fast ohne Blutung selbst sehr große Eingriffe machen kann. Nur ganz einfaches Tamponieren hat gesetzmäßige Anwendung, wenn man sich während der vorübergehenden Blutstillung darüber klar werden will, von wo das Blut kommt, und eine ruhige Unterbindung der blutenden Stelle oder des Gefäßes vornehmen will. Zum Stillen der Blutung aus Knochen ist das Verschmieren mit gelbem geschmolzenen Wachs ein ganz zweckmäßiges Mittel.

Nachdem man geendigt hat zu präparieren, wird die Wunde mit Nähten oder verschiedenartigen schließenden Pinzetten festgemacht.

Die Beleuchtung.

Eine wesentliche Bedingung zum Präparieren ist die genügende Beleuchtung. Dieses kann man entweder dadurch erreichen, daß man den Vivisektions- oder Operationstisch nahe bei gewöhnlichen Fenstern hinstellt, oder dadurch, daß man in den Vivisektions- oder Operationszimmern verstärkte natürliche Beleuchtung, sowohl seitlich als auch (besonders) von oben (extragroße Fenster mit großen Scheiben) einführt. Bei ungenügender natürlicher Beleuchtung ist es am bequemsten, außer der allgemeinen Beleuchtung des Operationszimmers zur speziellen Beleuchtung der Operationsstelle elektrisches Licht zu benutzen: entweder in Form einer einfachen Edisonschen Glühlichtlampe, bei der eine Seite amalgamiert ist und die mit einem Griff versehen ist, oder was noch besser ist in Form einer elektrischen Lampe mit Reflektor, die an einem Reifen befestigt ist, welcher um den Kopf des Präparierenden gelegt wird, in letzterem Falle braucht man keinen Extragehilfen zum Halten der Lampe (O. Ott).

Die Spritzen.

Die Fortschritte der Bakteriologie am Ende des 19. Jahrhunderts haben die Rolle der Mikroorganismen als Infektionsträger aufgeklärt und an die chirurgischen Instrumente neue Forderungen gestellt, unter denen die Möglichkeit dieser Instrumente leicht und ohne Schaden für sie zu sterilisieren die erste Bedingung ist. Die in dieser Zeit für subkutane Einspritzungen vorgeschlagenen Spritzen sind meistenteils nach dem Typus der Pravazschen Spritze konstruiert. Dabei wurde die Aufmerksamkeit der Autoren hauptsächlich darauf gelenkt, es möglich zu machen, alle Teile der Spritze durch die Einwirkung von hohen Temperaturen der Sterilisation zu unterziehen.

Einige von den wichtigsten Neuerungen auf diesem Gebiet seien in folgendem zusammengefaßt.

Gewöhnlich besteht der Kolben der Spritzen aus zwei Metallscheibchen, welche ein oder mehrere Lederringe zusammenpressen. Da das Leder schwer zu sterilisieren ist und vom Sterilisieren verdirbt, so ist der Vorschlag gemacht worden, es durch Asbest (Malassez[46])), durch stark gepreßtes Holundermark (Strauss und Collin[47])), Malassez[48]) oder durch einen besonderen Stoff, in welchem Kautschuk als Bestandteil enthalten ist und welcher zum Vereinigen der einzelnen Teile bei Dampfmaschinen gebraucht wird, zu ersetzen. Da der Kolben bei der Sterilisation die Hauptschwierigkeiten macht, so sind Spritzen ohne Kolben vorgeschlagen worden, in denen der Kolben durch einen Gummiballon ersetzt ist (Mareschal[49]), Rochon[50])). Da die Glaszylinder, welche für die Spritzen gebraucht werden, ihrer ganzen Länge nach nicht mathematisch genau dasselbe Kaliber haben, so kann eine gleichmäßige Fortbewegung des Kolbens ein ungleichmäßiges Ausfließen der Flüssigkeit zur Folge haben. Um diesen Nachteil zu beseitigen, hat d'Arsonval[51]) zuerst eine Spritze mit vollkommen genau versinkendem, genau eingepaßtem Kolben vorgeschlagen und sie später verbessert (seringue à piston plongeant).

Ein dichtes Zusammenfügen der Teile wird in der Pravazschen Spritze ebenfalls mit Hilfe von Lederringen erreicht, welche zwischen den

Enden des Glaszylinders und des Metallgerüstes eingelegt werden. Zum Ersatz des Leders haben Strauss und Collin[52]) Ringe aus stark gepreßtem Holundermark vorgeschlagen.

In der Spritze von Gudendag[53]) sind die Ringe vollkommen beseitigt und dank der sorgfältigen Anpassung des Metallgerüstes zu dem Glaszylinder wird eine vollkommen hermetische Schließung des Apparates erreicht.

Zwecks möglichst vollkommener Sterilisation waren die Erfinder bemüht, die Konstruktion der Spritze nach Möglichkeit zu vereinfachen, indem sie zu allererst die Anzahl der einzelnen Teile verringerten. So hat Luer[54]), dem Vorschlag von Malassez folgend, eine Spritze vollkommen aus Glas angefertigt: diese besteht nur aus zwei Teilen, einem Glaszylinder, welcher nach der einen Seite hin zum Draufsetzen der Nadel enger wird und aus einem Kolben, ebenfalls aus Glas, welcher nichts anderes vorstellt, als eine von beiden Seiten zugelötete Glasröhre (die etwas länger sein muß als der Glaszylinder), welche dem Zylinder gut angepaßt ist und in ihn unter leichter Reibung hineingeht.

In der Rekordspritze besteht der Piston aus Metall.

Mermet und Majar[55]) haben nach dem Luerschen Typus Spritzen aber nur vollkommen aus Nickel angefertigt.

Bei einigen Spritzen ist das Metallgerüst abgeschafft (Fournier[56]) und der Zylinder wird wie in der Spritze von Malassez und Luer nach der einen Seite hin zum Draufsetzen der Nadel enger.

Um beim Manipulieren eine Hand vollkommen frei zu haben, hat Spiegel[57]) eine automatische Spritze vorgeschlagen, zu deren Handhabung nur eine Hand nötig ist.

Viele Spritzen werden in Metallkästchen verkauft, in denen sie sterilisiert werden können, wobei der Deckel des Kästchens gewöhnlich als Spiritusbrenner benutzt werden kann (die Spritze von Aubry[58]) für 20 cm^3, die Spritze von Duflocq[59])).

Zum langsamen subkutanen Einspritzen großer Flüssigkeitsmengen kann der spezielle Apparat von Burlureaux und Gerder[60]) dienen.

f) Künstliche Respiration.

Wenn man einige spezielle Fälle, in denen künstliche Respiration angewandt wird (genaue Untersuchung der ausgeatmeten Luft, Untersuchung der Wirkung veränderter Luftzusammensetzung usw.), außer acht läßt, besteht der Zweck der künstlichen Respiration gewöhnlich darin, Luft in die Lungen ein- und auszupumpen, um das Tier, welches durch einen oder den anderen experimentellen Eingriff, der Fähigkeit, zu atmen, beraubt ist, lebend zu erhalten. So ist die künstliche Respiration unumgänglich nötig, wenn das Rückenmark unter dem verlängerten Mark durchschnitten wird, oder wenn die Pleurahöhle geöffnet wird, oder wenn das Versuchstier mit Kurare vergiftet wird; nicht ohne Nutzen ist sie, wenn das Tier mit solchen Giften immobilisiert wird, welche die Atemtätigkeit vor der Herztätigkeit lähmen (z. B. Chloralhydrat) und in ähnlichen Fällen.

Da die künstliche Respiration den natürlichen Prozeß ersetzt, muß sie demselben möglichst ähnlich sein, d. h. das Ein- und Ausführen der Luft in

den Lungen müssen sich in einer gewissen Reihenfolge abwechseln, der Rhythmus der künstlichen Respirationsbewegungen und die in die Lungen gelangende Luftmenge müssen dem gegebenen Versuchstier einen möglichst regelmäßigen Gasaustausch sichern, und das Aufblasen der Lungen darf, um den Blutkreislauf nicht zu beeinträchtigen, eine gewisse Grenze nicht übersteigen.

Die künstliche Respiration wird durch das Ein- und Auspumpen der Luft in die Lungen des Tiers mittels eines Maskenmaulkorbes[61]), mittels einer Laryngealsonde (Cl. Bernard) oder (wenn die Größe des Tiers es gestattet) mittels einer in der Trachea festgemachten Kanüle erreicht. Im letzten Falle wird am Tier die Operation der Tracheotomie vollzogen. Der Blasebalg oder die Luftpumpe, welche die Luft in die Lunge befördern, werden durch eine gewöhnliche Gummiröhre mit der Kanüle vereinigt.

Gewöhnlich wird das Einpumpen der Luft in die Lungen (bei Hunden, Katzen, Kaninchen) durch eine Kanüle, die in die Trachea hineingebunden wird, vollzogen.

Als Kanüle kann jedes harte Röhrchen (aus Glas oder Metall), es sei gerade oder gebogen, dienen, wenn es nur mit seinem Durchmesser zur Größe der Trachea des zu operierenden Tieres paßt. Dasjenige Ende der Kanüle, welches zu den Lungen hin gewandt ist, muß schräg abgeschnitten sein, das Ende aber, welches mit der die Luft zustellenden Röhre verbunden ist, muß rings herum eine Vertiefung haben, um die Befestigung der letztgenannten Röhre mittels Schnur oder Draht zu ermöglichen. Um einem übermäßigen Aufblasen der Lungen durch die aus dem Blasebalg oder aus der Pumpe eingepumpte Luft vorzubeugen und andererseits, um der Exspirationsluft einen Ausgang zu verschaffen, ist es nötig, auf dem Kautschukröhrchen, welches die Kanüle mit der Luftpumpe verbindet, einen V-förmigen Einschnitt (Cl. Bernard) oder ganz nahe vor der Kanüle eine ovale Öffnung zu machen[62]). Letztere kann nach Belieben ganz oder nur teilweise durch einen Teil einer anderen breiteren Kautschukröhre, welche das die Öffnung tragende Röhrchen umgibt, verdeckt werden. Wenn man zwischen der Trachealkanüle und dem Blasebalg bzw. der Luftpumpe ein Metallröhrchen mit einer ziemlich langen ovalen Öffnung einschaltet, so stellt dieses zum oben erwähnten Zweck eine noch größere Bequemlichkeit dar. Dieses Röhrchen ist mit einer auf ihm frei beweglichen Hülse versehen, welche mittels einer Schraube in einer jeden Lage befestigt werden kann.

Dasselbe kann man mit Hilfe eines T-förmigen Röhrchens erreichen; ein Ende dieses Röhrchens wird in der Trachea festgebunden, das andere Ende wird mit dem die Luft zuführenden Röhrchen verbunden, auf das dritte freie Ende werden durch Vermittlung eines Kautschukröhrchens verschieden enge Glaskanülen aufgesetzt. Wenn die Luft mit Hilfe eines Blasebalgs eingepumpt wird, kann sie durch eine eigens dafür gemachte Klappe entfernt werden; diese Marcetsche Klappe (Cl. Bernard) befindet sich im Blasebalg selbst und öffnet sich jedesmal bei einer bestimmten Lage seiner Deckel.

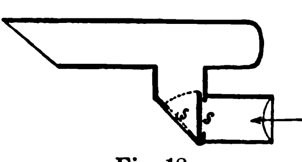
Als Beispiel einfacher Metallkanülen können die Kanülen von Ludwig und François-Frank dienen.

Die Ludwigsche Kanüle für Hunde (Fig. 17) besteht aus zwei Röhrchen, welche unter einem rechten Winkel zu einander zusammengelötet sind. Dasjenige Ende, welches in die Trachea hineingebunden wird, ist abgeschrägt und mit zwei walzenförmigen Verdickungen versehen; eine gleiche walzenförmige Verdickung befindet sich auch auf dem anderen Ende der Kanüle, welches mit die Luft zuführenden Röhren verbunden wird. An diesem selben Teil befindet sich eine Vorrichtung zum Regulieren der eintretenden Luftmenge: im Röhrchen ist eine Spalte gemacht und das Röhrchen selbst wird von einer Hülse umgeben, die eine gleiche Spalte trägt; die Hülse kann auf dem Röhrchen nach Belieben hin und her geschoben werden.


Fig. 17.

Die Kanüle von François-Frank[63]) für Hunde (Fig. 18) bietet die große Bequemlichkeit, daß sie ohne mit Ligaturen festgebunden zu sein, in der Trachea sehr fest hält. Dieses wird dadurch erreicht, daß die Kanüle eigentlich ein T-förmiges Röhrchen darstellt, dessen horizontaler Ast von der einen Seite festgelötet ist und in die Trachea mit der Öffnung nach den Lungen hin hineingestellt wird; der vertikale Teil (er besteht zuweilen selbst aus zwei rechtwinklig zu einander zusammengelöteten Röhrchen, zuweilen aus einer stark gebogenen Röhre) wird mit dem Röhrchen, durch welches die Luft zuströmt, verbunden. Um die Luftzufuhr zu den Lungen zu regulieren, wird die oben beschriebene Vorrichtung angewandt.

Eine bequeme Modifikation der einfachen Kanüle stellt die kleine Kanüle aus Neusilber für Kaninchen von Ludwig (Fig. 19) dar. Die Eigenheit dieser Kanüle ist die, daß derjenige Teil des Astes, welcher mit der die Luft zustellenden Röhre in Verbindung steht, sich um seine Achse drehen läßt und folglich die Möglichkeit gegeben ist, auf beiden Seiten des Halses in aller Bequemlichkeit zu arbeiten.


Fig. 18.

Schließlich kann man mittels der Kanüle von Gad[64]) durch das Umdrehen des Hahns die Lungen nach Belieben bald mit dem die Luft zustellenden Röhrchen, bald mit der Mund- und Nasenhöhle vereinigen.

Außer diesen einfachen gibt es noch kompliziertere Kanülen, welche den Zweck haben, die Inspirationsluft von der Exspirationsluft zu trennen. So eingerichtet sind die Kanülen von Wintrich[65]), Czermak[66]), François-Frank[63]), Guthrie[57]), das von Cyon beschriebene Ventil (Cyon), die Kanüle für kleine Tiere von Ranvier[68]) u. dergl. Das Konstruktionsprinzip aller dieser Kanülen ist immer dasselbe und besteht darin, daß mittels irgendeiner Vorrichtung, gewöhnlich eines Ventils, welches durch den Strom der eingepumpten oder ausgeatmeten Luft in Gang gebracht wird, während der Inspiration die Öffnung, welche das ganze System mit der Atmosphäre verbindet, sich schließt und die Luft in die Lungen strömen muß, wogegen

wiederum während der Exspiration sich die Öffnung des die Luft zuführenden Röhrchens schließt und erstere sich öffnet, so daß der Luft die Möglichkeit gegeben ist, nach außen hinauszutreten.

Bei Tieren, welche die Fähigkeit selbständig zu atmen eingebüßt haben, werden die Atembewegungen mit Hilfe spezieller Apparate zustande gebracht, von Pumpen oder Blasebälgen. Diese Apparate können nach einem der folgenden Typen eingerichtet werden: entweder sie jagen periodisch Luft in die Lungen hinein, oder sie vermindern periodisch den Luftdruck in den Lungen; es können auch beide Typen in einem Apparat vereinigt werden, d. h. der Apparat pumpt die Luft ein, und dann pumpt er sie wieder aus.

In den Apparaten der ersten Kategorie wird die Inspiration dadurch bedingt, daß der eingepumpte Luftstrom sich nach der Seite des geringsten Widerstandes hin, d. h. nach den zusammengefallenen Lungen hin, verbreitet; die Expiration kommt dank einer Pause im Einpumpen zustande, während welcher der Brustkasten seiner Schwere wegen zusammenfällt. Dabei ist es eine unvermeidliche Bedingung, daß der eingepumpten Luft die Möglichkeit gegeben sein muß, aus den Lungen herauszuströmen; dieses wird mittels besonderer Vorrichtungen, welche schon oben beschrieben worden sind, erreicht. So eine künstliche Respiration hat im Vergleich zum natürlichen Atmen den Nachteil, daß die Lungen und der Brustkasten wegen des übermäßigen Aufblasens bis zu einem gewissen Grade an Elastizität einbüßen. Deswegen scheiden die Lungen weniger Luft aus, als sie Zeit haben aufzunehmen, der Druck innerhalb des Brustkorbes wird größer und der Blutdruck fällt.

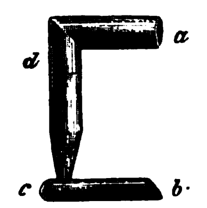


Fig. 19.

Ein anderes Prinzip zum Einrichten von Respirationsapparaten besteht darin, daß man mit Hilfe einer Pumpe die Luft aus den Lungen auspumpt; das entspricht dem Ausatmen. Die Inspiration geschieht auf Kosten der Erweiterung der Lungen und des Brustkorbes infolge ihrer Elastizität. Dabei strömt entweder die Atmosphärenluft, welche in einem bestimmten Augenblick die Möglichkeit bekommt, ins System einzudringen, von selbst in die Lungen hinein, oder sie wird künstlich unter nicht zu sehr vergrößertem Druck hineingejagt. Solche Apparate verfolgen das Ziel, den Blutdruck nach Möglichkeit nicht zu verändern und dem übermäßigen Aufblasen, ja sogar dem Zerreißen der Lungen vorzubeugen, was passieren kann, wenn man Apparate der ersten Kategorie anwendet.

Schließlich werden in Apparaten der dritten Kategorie sowohl die Inspiration als auch die Exspiration mit Hilfe von Pumpen zustande gebracht, von denen die eine die Luft in die Lungen einpumpt und die andere sie auspumpt. Auch hierbei leidet der Blutdruck weniger, als bei der künstlichen Respiration, wenn die Luft nur eingepumpt wird.

Die Apparate für künstliche Respiration können von den verschiedensten Konstruktionen sein, aber an die Arbeit eines jeden Apparates können folgende Hauptforderungen gestellt werden: 1. es muß die Möglichkeit vorhanden sein, die eintretende Luftmenge zu regulieren; 2. müssen jedesmal gleiche Portionen in die Lungen geraten; 3. muß der Apparat rhythmisch arbeiten; 4. muß der Rhythmus der Arbeit nach Belieben verstellbar sein;

5. muß der Einfluß auf die Blutzirkulation nach Möglichkeit beseitigt werden;
6. muß die Arbeit des Apparats automatisch vor sich gehen.

In den Apparaten der ersten Kategorie wird die Luft entweder mittels eines Blasebalgs oder dank dem erhöhten Luftdruck, den eine Luftpumpe erzeugt, in die Lungen hineingejagt.

Ein Blasebalg kann von den oben gestellten Bedingungen, denen die Arbeit der Apparate für künstliche Respiration genügen muß, folgende erfüllen.

Die Menge der vom Blasebalg eingepumpten Luft wird für denselben Balg durch die Größe der Exkursionen der beiden Deckel bestimmt. Im einfachen Blasebalg, den man mit der Hand aufbläst, wird dieses einfach dadurch erreicht, daß man die Exkursionen der beiden Deckel auf diese

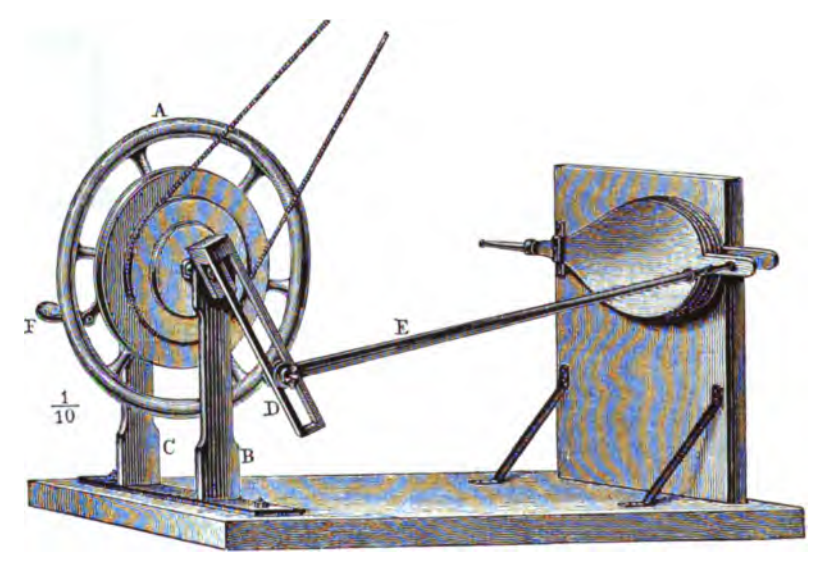


Fig. 20.

oder jene Art beschränkt. In den komplizierteren Apparaten, wie z. B. die Apparate von Schwann (Cl. Bernard), Gréhant[69]), Stricker (Gscheidlen, S. 530), Liebreich[70]), bei denen der eine Deckel des Blasebalgs unbeweglich befestigt ist und der andere durch eine an ihn befestigte Stange, die ihrerseits mit einem Schwungrade verbunden ist, in Gang gebracht wird, ist folgende Einrichtung vorhanden. Die Stange (Fig. 20) wird nicht direkt am Rade unbeweglich befestigt, sondern sie wird mit einer Gabel, welche an das Rad oder an dessen Achse angemacht ist, verbunden; im Schlitz dieser Gabel kann die Stange hin und her bewegt und in der beliebigen Lage befestigt werden. Dadurch kann der Radius des vom oberen Ende der Stange beschriebenen Kreises, und somit auch die Exkursionen, welche das freie Ende des Blasebalgs beschreibt, innerhalb gewisser Grenzen nach dieser oder jener Seite hin verändert werden.

Eine analoge Einrichtung hat der Apparat von Langard (Fig. 21) (Gscheidlen, S. 529).

Im Apparate von Ludwig (Cyon) wird dasselbe durch verschiedene Einstellungen des Exzenters erreicht (Fig. 22).

Wenn aber der Blasebalg durch einen Kautschukbeutel ersetzt wird, welch letzterer immer zwei Ventile hat — ein Inspirations- und ein Exspirationsventil —, so wird die Menge der mit jedem Male ausgeblasenen Luft dadurch bestimmt, wie stark er (mit der Hand oder mit dem Fuß) zusammengequetscht wird.

Außerdem wird bei allen Apparaten dieser Gruppe die Menge der in die Lungen gelangenden Luft noch durch die sich auf der Kanüle befindenden Vorrichtungen reguliert (vergl. oben). So ein Ableiten eines Teils der einströmenden Luft in die Atmosphäre dient aber hauptsächlich dazu,

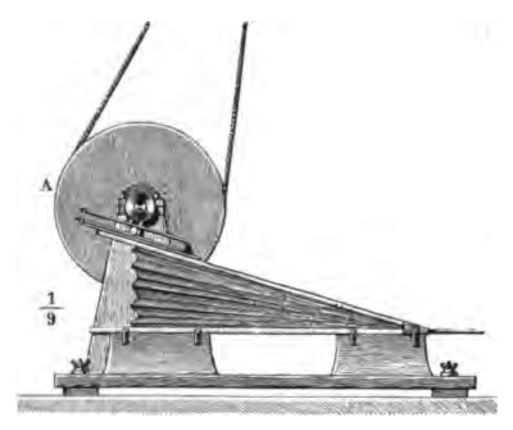


Fig. 21.

um das übermäßige Aufblasen der Lungen zu verhindern, und kann nicht allein im gewünschten Grade die Menge der einströmenden Luft regulieren (z. B. bei verschiedenen Tierarten und ein und demselben Blasebalg).

Was die Gleichmäßigkeit der jedesmal ausgeblasenen Luftportionen und den Rhythmus der Arbeit des Blasebalgs betrifft, so sind diese beiden Bedingungen (wenn man von der feineren Ausarbeitung des Blasebalgs absieht) von der Vollkommenheit und der Regelmäßigkeit abhängig, mit welcher der Motor, der den Blasebalg in Bewegung versetzt, arbeitet. So z. B. sind die Hand oder der Fuß des Gehilfen (z. B. beim Ludwigschen Apparat), wenn sie auch bei einiger Fertigkeit ziemlich lange Zeit recht gleichmäßig arbeiten können, dennoch ein wenig vollkommener und teurer Motor. Wesentliche Unbequemlichkeiten bieten auch die älteren Apparate für künstliche Respiration, die mit einem Uhrmechanismus versehen sind (Schwann, Stricker). Sie verlangen oft von neuem aufgezogen zu werden (der Apparat von Schwann muß alle 15 Minuten, der von Stricker alle 8 Minuten wieder aufgezogen werden), und wenn es noch dazu ein Sprungfedermechanismus ist (Stricker), so wird die Wirkung der Sprungfeder

mit dem Auseinanderrollen derselben immer schwächer und es wird somit auch die Arbeit des Blasebalgs keine regelmäßige sein.

Die Wahl eines jeden anderen Motors, es sei ein Wasser-, ein Dampf-, ein Gas- oder ein Elektromotor, hängt von der Vollkommenheit seiner Konstruktion, welche eine regelmäßige Arbeit sichert, ebenso wie auch von der Tragbarkeit, Geräuschlosigkeit, Billigkeit und sogar von der Gewohnheit, mit diesem oder jenem Apparat zu arbeiten, ab.

Noch eine Bedingung, welcher die Arbeit der Apparate für künstliche Respiration genügen muß, ist die Möglichkeit, den Rhythmus der Arbeit zu ändern; dieser ist unumgänglich nötig, wenn man ein und denselben Blasebalg für

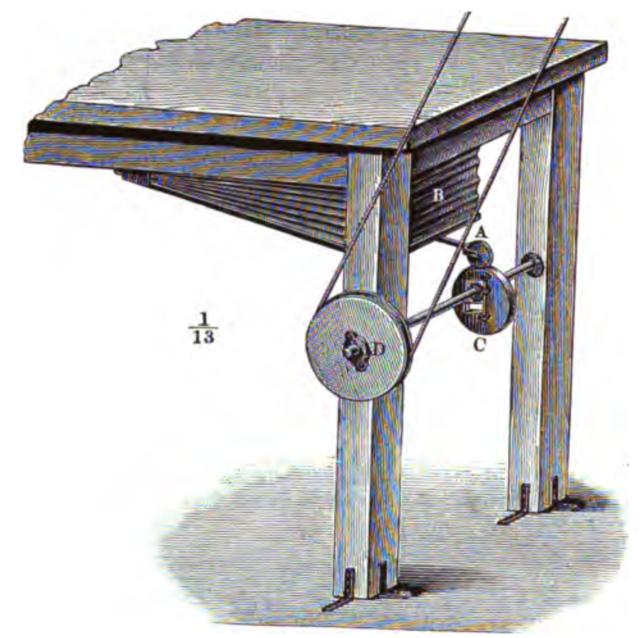


Fig. 22.

verschieden große Tiere gebraucht und auch an ein und demselben Tier in manchen speziellen Aufgaben. So eine Veränderung des Rhythmus wird durch das Beschleunigen der Umdrehungen des Schwungrades erreicht; auf der Achse desselben befindet sich die oben bebeschriebene Gabel mit dem Schlitz, welche die Stange und folglich auch den beweglichen Deckel des Blasebalgs mit sich in Bewegung versetzt. Die Beschleunigung der Drehungen des Schwungrades, durch welche die Frequenz der Bewegungen des Blasebalgdeckels erhöht wird, wird in den jetzt gebräuchlichen Apparaten vor allem dadurch erreicht, daß man die Arbeit des Motors (Hand, Kraftmaschine) verstärkt. Aber außerdem kann bei maximaler Arbeit des Motors die Beschleunigung des Rhythmus noch auf folgende Weise erreicht werden: An das Schwungrad (zuweilen auch an das Rad des Motors) werden einige Räder (gewöhnlich sind sie von Holz) mit verschiedenem Durchmesser an-

gebracht; diese Räder haben am Rande eine Schnurrolle. Der Riemen oder die Schnur, welche das Motorrad mit dem Rade des Blasebalgs verbinden, können nach Wunsch an eins von den Holzrädern herumgelegt werden und dadurch wird die gewünschte Veränderung in der Arbeit des Blasebalgs erreicht. Einen sehr bequemen Blasebalg, der sich auch in unserem Laboratorium bewährt hat, stellt das vom Mechaniker Ch. Verdin in Paris herrührende Modell dar (Fig. 23).

Eine andere Methode, um Luft in die Lungen hineinzupressen, bildet der Gebrauch einer Luftpumpe, einer Wasser- oder einer Kolbenpumpe. In allen diesen Apparaten muß eine besondere Einrichtung vorhanden sein,

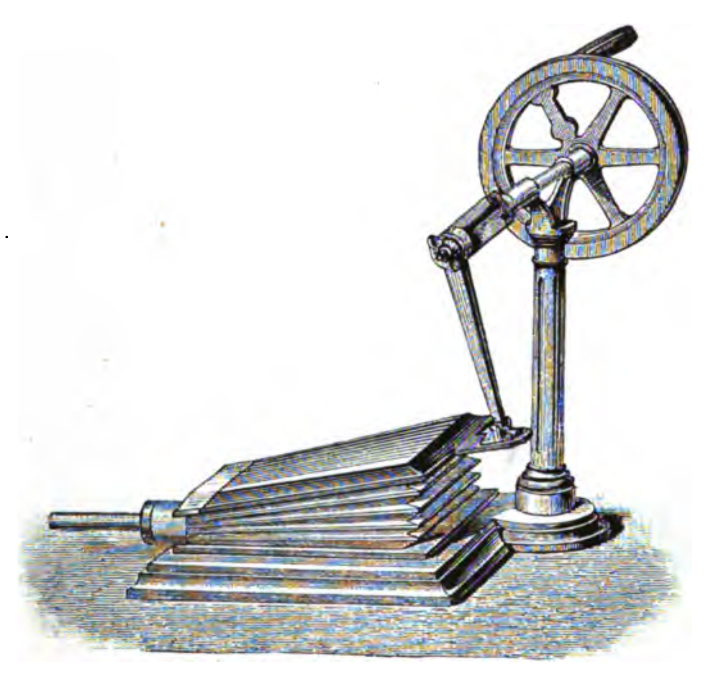


Fig. 23.

welche die Möglichkeit gibt, den Luftstrom periodisch zu unterbrechen, damit es dem Respirationsapparat des Tiers dadurch möglich gemacht wird, die Exspiration zustande zu bringen. Die einfachste Vorrichtung besteht darin, daß das Röhrchen, welches die Trachealkanüle mit der Pumpe vereinigt, an irgendeiner Stelle periodisch zusammengedrückt und wieder losgelassen wird. Dieses wird dadurch erreicht, daß der eine Arm eines zweiarmigen Hebels durch einen Elektromagnet periodisch tief hinuntergezogen wird. Der Elektromagnet kann durch einen Uhrmechanismus reguliert werden (Apparat von Lukjanoff[71]) oder kann seine Wirkung dadurch unterbrochen werden, daß die elektrische Kette sich öffnet; letzteres wird durch eine kompliziertere Einrichtung erreicht (Apparat von Dutto[72])). Im noch komplizierteren Apparat von Miescher[73]) wird die Unterbrechung des Luftstroms durch einen besonderen Atemschieber erreicht, welcher durch

einen Motor in Gang gebracht wird. Dank einer speziellen Vorrichtung können nicht nur die Bewegungen des Atemschiebers beschleunigt oder verlangsamt werden, d. h. mit anderen Worten, es kann nicht nur die Anzahl der Luftstöße, welche in einer gewissen Zeiteinheit in die Lungen gelangen, vergrößert werden, sondern es kann bei gleicher Frequenz der Luftstöße die Öffnungszeit innerhalb weiter Grenzen verkürzt oder verlängert werden.

Im Apparat von Bowditch[74]) wird die Unterbrechung des Luftstroms durch das Umdrehen eines Hahns erreicht; der Hahn wird von einem Motor gedreht.

Schließlich wird im Apparat von Kronecker[75]) die Öffnung und Schließung des Luftstroms dadurch erreicht, daß ein speziell eingerichteter Regulator durch einen Wasserstrom in Gang gebracht wird.

Einen anderen Typus von Apparaten zur Unterbrechung des Luftstroms bildet eine Art von Hähnen (der Apparat von Hoyt[76]) und der von Straub[77]).) So ein Hahn stellt nichts anderes dar, als einen massiven Zylinder, welcher sich in einem anderen ihm genau angepaßten, hohlen, von oben und unten geschlossenen Zylinder herumdreht. Am letzteren Zylinder sind folgende Abzugsröhrchen angebracht: eine zur Trachea des Tiers (zuweilen zwei zu den Tracheen von zwei Tieren, Hoyt), eine zur Luftpumpe und eine dritte in die Atmosphäre. Im inneren massiven Zylinder ist entweder ein exzentrisch verlaufender Kanal gemacht (Straub) oder es sind zwei unter einem Winkel zu einander verlaufender Kanäle (Hoyt); diese vereinigen abwechselnd bei ihrer Drehung bald die Trachea mit der Pumpe, bald die Trachea mit der Atmosphäre. Solche Hähne können, wie auch komplizierte Kanülen zur Trennung der ein- und der ausgeatmeten Luft, zum Zweck ihrer Untersuchung dienen. Der Hahn wird durch einen speziellen Motor in Gang gebracht.

Die Menge der in die Lungen eingeblasenen Luft wird bei allen diesen Apparaten durch die Arbeit der Pumpe bedingt, der Rhythmus der Atembewegungen aber dadurch, wie oft der Luftstrom unterbrochen wird.

Ganz abgesondert von allen beschriebenen Apparaten für künstliche Respiration, welche Luft in die Lungen einpumpen, steht der recht komplizierte und heutzutage wohl kaum irgendwo gebräuchliche Apparat von Thiry[78]). Die Eigentümlichkeit dieses Apparats besteht darin, daß die Luft durch die Schwankungen des Quecksilbers in einer umgebogenen Röhre in Bewegung versetzt wird und nicht durch einen Blasebalg oder eine Luftpumpe.

Es versteht sich von selbst, daß man bei allen Apparaten für künstliche Respiration, welche die Luft in die Lungen hineinjagen, auch mit geöffnetem Brustkorb arbeiten kann.

Da beim Einpumpen der Luft in die Lungen, wie schon oben erwähnt ist, der Blutdruck stark geschädigt wird, und die Exspiration dank dem Verlust der Lungen an Elastizität erschwert wird, bediente sich Zuntz[79]) eines Apparats, welcher die Luft aus den Lungen periodisch heraussog, was der Exspiration entspricht. Das Eintreten von frischer Luft in die Lungen wurde auf Kosten der Elastizität der Lungen und des Brustkorbes oder dank einem geringen positiven Druck erreicht. Wenn der Brustkorb geöffnet wird, ist natürlich so ein Apparat unwirksam.

Eine gleiche Idee liegt auch der Einrichtung des Apparats für künstliche Respiration von Rosenthal[80]) zugrunde. Da Rosenthal seinen Apparat einigemal modifiziert hat und ihn zuletzt endgültig als ein- und auspumpenden Apparat konstruiert hat (diese beiden Eigenschaften des Apparats können auch jede einzeln verwandt werden), so wird es bequemer sein, ihn in der nächsten Gruppe der Apparate für künstliche Atmung zu besprechen[81]). Hier muß nur vermerkt werden, daß es Rosenthal gelungen ist, durch künstliche Respiration, welche mit Hilfe des Aussaugens der Luft erzielt wurde, bei einem Kaninchen Apnoe zu erreichen.

Dasselbe Prinzip kann auch in einigen oben beschriebenen Apparaten mit ununterbrochenem Luftstrom durchgeführt werden, wenn man die Pumpe,

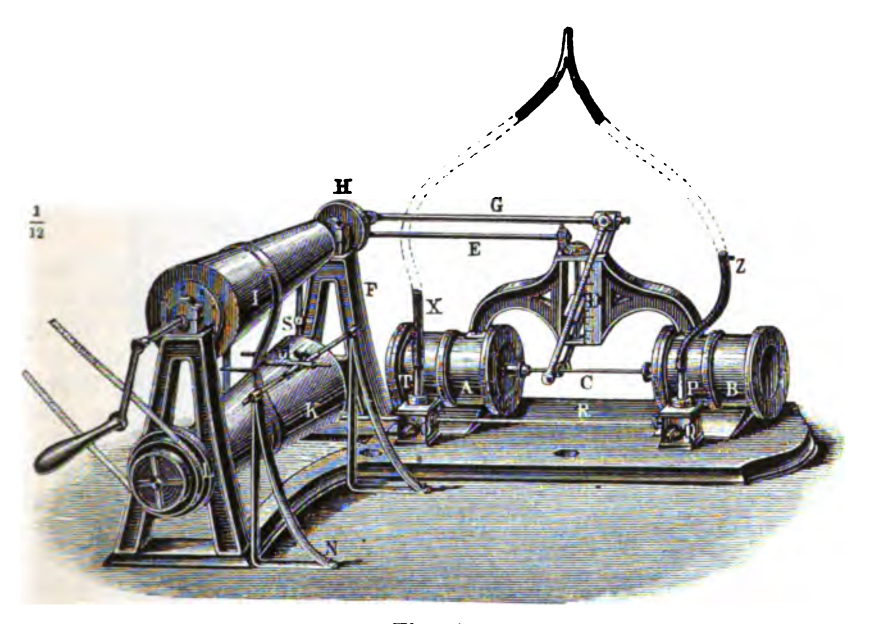


Fig. 24.

welche die Luft einpumpt, durch eine Saugpumpe ersetzt, was von Lukjanoff[71]) und Miescher[73]) auch vorgeschlagen worden ist. Nach Miescher ist es indessen viel schwerer, unter solchen Umständen Apnoe beim Kaninchen zu erzeugen als durch gewöhnliche künstliche Respiration.

Das Einrichtungsprinzip der Apparate für künstliche Atmung, welche das Ziel haben, sowohl für die Inspiration als auch für die Exspiration zu arbeiten, ist in den Hauptzügen folgendes: Die Lungen müssen abwechselnd, bald mit der Druck- und bald mit der Saugpumpe vereinigt werden; es können auch zwei Luftbehälter sein, von denen der eine komprimierte, der andere verdünnte Luft enthält, in denen aber der Luftdruck auf der gewünschten Höhe unterhalten werden kann. Dabei darf sich die aus den Lungen ausgesogene Luft nicht mit derjenigen, welche zum Einpumpen bestimmt ist, vermengen, sondern den Lungen müssen stets neue und neue Portionen frischer Luft zugeführt werden.

Als Pumpen können Kolbenluftpumpen (Apparat von Hering, Fig. 24, und der Apparat von Mayer[82]), Wasserstrahlpumpen (Apparat von Rosenthal[81]) oder Wassertrommelgebläse (Apparate von Lehmann[83]) und Ewald[84]) dienen.

Zur Y-förmigen Trachealkanüle gehen gewöhnlich zwei Kautschukröhrchen, durch das eine wird die Luft eingepumpt und durch das andere ausgesogen. Um die Lungen des Tiers bald mit der einen, bald mit der anderen funktionierenden Pumpe zu vereinigen, gibt es verschiedene Vorrichtungen. Es können Schieber sein, welche bald die eine, bald die andere Öffnung öffnen (Hering, Mayer), oder Ventile (Rosenthal) oder Hähne, wie sie oben für die Apparate von Hoyt und Schraub beschrieben sind (Ewalds Luftkommutator). Schließlich kann die künstliche Respiration einfach dadurch erreicht werden, daß man abwechselnd bald das Inspirations-, bald das Exspirationsröhrchen, welche zur Trachealkanüle führen, zudrückt; dieses Zudrücken geschieht mit Hilfe eines Elektromagnets (Lehmann). Um alle diese Hilfsapparate in Gang zu bringen, benutzt man entweder dieselbe Kraft, welche die Pumpe in Gang bringt, oder es muß noch ein spezieller Motor vorhanden sein.

Von der Cambridge Scientific Instrument company wird folgender Apparat zur künstlichen Atmung dargestellt (Fig. 25).

Der Apparat besteht aus zwei weiten Luftzylindern mit je zwei Klappen; unter diesen findet sich ein Wasserzylinder mit Klappe und Hähnen; rechts ein Windkessel mit einem Einströmungsrohr und zwei Hähnen; links eine Spiralfeder und die Vorrichtung, um die Zufuhr von Wasser zu regulieren. Die Einströmungsröhre am Boden des Windkessels ist mittels eines Schlauches mit dem Wasserzylinder verbunden. Nachdem das Wasser bis zu einer gewissen Höhe in den Windkessel gestiegen ist, treibt es den Kolben im Wasserzylinder nach oben; gleichzeitig werden auch die Kolben in den beiden Luftzylindern nach oben bewegt, und also die Luft aus ihnen getrieben. Nachdem die Bewegung nach oben vollendet ist, stellt sich die Wasserklappe automatisch ein, die Spiralfeder zieht die Kolben nach unten und Luft wird in den beiden Luftzylindern hineingezogen. Der untere Zylinder treibt Luft in die Lungen, der obere saugt Luft von ihnen aus. Zur Narkose kann ein Teil der in den unteren Luftzylinder eintretenden Luft durch eine Woulffsche Flasche mit Chloroform geleitet werden.

Durch Drehen der Hähne am Wasserzylinder kann die Geschwindigkeit des Kolbens sowohl beim Aufsteigen als beim Absteigen unabhängig reguliert werden. Auch kann die bei jedem Kolbenschlag gelieferte Luftmenge durch Verstellen der Schraube nahe an die Spiralfeder variiert werden.

Mit Hilfe der hier beschriebenen Apparate ist es leicht möglich, die Menge der eingepumpten bzw. der ausgesogenen Luft (stärkere Arbeit der Pumpen) oder die Frequenz der Atembewegungen (Beschleunigung oder Verlangsamung der Schieber-, Ventilarbeit usw.) zu verändern. Außerdem ist es bei einigen von diesen Apparaten möglich, nach Belieben das Verhältnis zwischen Inspirations- und Exspirationszeit zu verändern, unabhängig von der Zahl der Atembewegungen verschiedenen Inspirations- und Exspirationsdruck einzustellen oder nach der beliebigen Phase Pausen einzuschalten (Ewald). Man kann auch das Luftvolum, welches zum Ein- oder

Auspumpen bestimmt ist, momentan verändern und das Einpumpen oder Aussaugen der Luft mit der gewünschten Geschwindigkeit vollziehen, oder

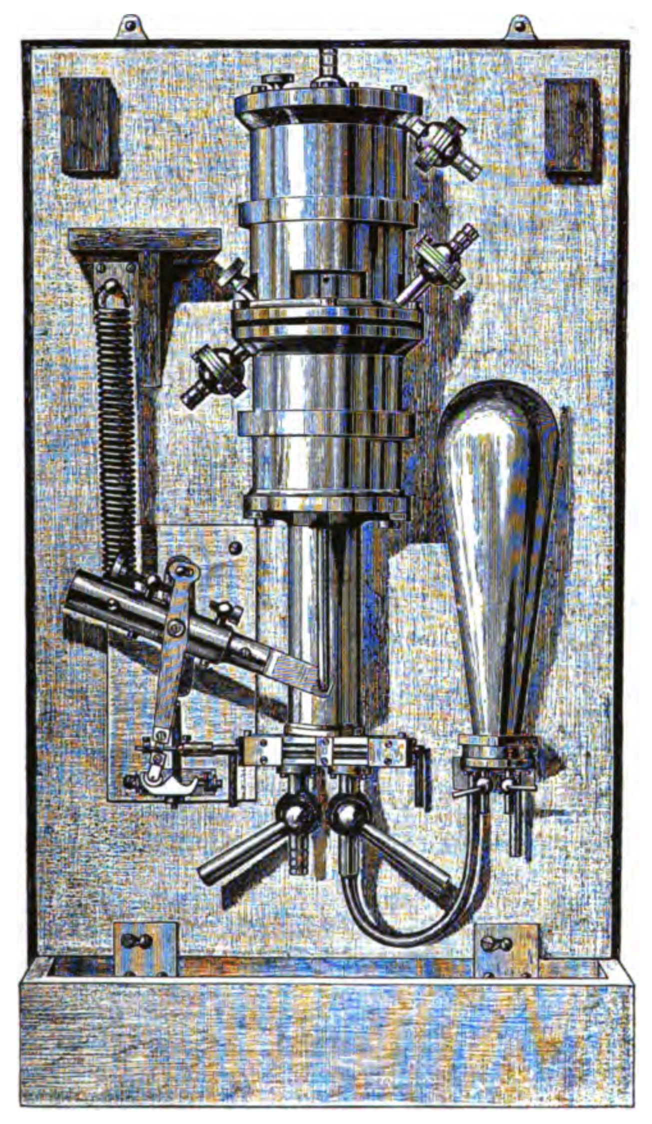


Fig. 25.

man kann auch die Inspirations- und die Exspirationszeit unabhängig voneinander verlängern oder verkürzen.

In allen derartigen Apparaten kann die aus den Lungen ausgepumpte Luft apart gesammelt und einer chemischen Analyse unterworfen werden.

Brauer([61]) hat, im Anschluß an eine von Sauerbruch beschriebene

Methode der künstlichen Atmung bei interthorakalen Operationen am Menschen, folgendes Verfahren zur künstlichen Atmung bei Tieren ausgebildet.

Nach stattgefundener Tracheotomie wird die Trachealkanüle mit einer Sauerstoffbombe in Verbindung gesetzt. Der aus der Bombe ausströmende Sauerstoffstrom wird, bevor er die Trachealkanüle erreicht, durch ein Y-Rohr in zwei Bahnen geleitet. Eine Bahn geht direkt zu einem zweiten Y-Rohr, die andere hingegen passiert zum Zwecke der Narkose eine Ätherflasche und tritt nun mit Äthergasen geschwängert zu jenem zweiten, die beiden Bahnen wieder vereinigenden Y-Rohr. Durch Klemmschrauben kann man nach Belieben den einen oder anderen Weg dem Sauerstoff vorschreiben, welcher alsdann zur Kanüle gelangt.

Die Trachealkanüle ist fest einzubinden; sie stellt ein dickes T-Rohr dar. In derselben strömt der Sauerstoff an der sich rechtwinklig abzweigenden Trachealkanüle vorbei. Bei jedem auch noch so leichten Atemzuge wird dem Tiere daher reichlich Sauerstoff verfügbar sein. Von dem T-Rohr aus gelangt dann der Luftstrom in einen großen Windkessel, der etwa 20 bis 50 l zu fassen imstande ist. Der Windkessel ist notwendig, damit durch die Atembewegungen in dem Röhrensystem und auf der Innenfläche der Lungen keine unnatürlichen Druckschwankungen erzeugt werden. Aus diesem Kessel führt ein Hahn mit weitem Lumen; dieser steht in Verbindung mit dem Druckventil, d. h. einem weiten Glasrohre, welches nach Wunsch wechselnd tief unter Wasser getaucht wird. Dieses Rohr stellt das Manometer dar, regelt ferner den Druck in dem Röhrensystem und läßt, dem Zustrome und den Atembewegungen des Tieres entsprechend, Gasblasen austreten.

Die Brauersche Methode ist von Auer und Meltzer[86]) in folgender Weise modifiziert worden.

Nach stattgefundener Tracheotomie wird ein Glasrohr in die Trachea eingeführt und bis zur Bifurkation oder bis in den rechten Bronchus geschoben. Der Durchmesser des Rohres ist etwa $^2/_3$ von dem der Trachea. Die Luft tritt durch das Rohr hinein und durch die Öffnung in der Trachea heraus.

In anderen Fällen wurde eine kurze Trachealkanüle in den oberen Teil der Trachea festgebunden und eine dünne Glasröhre durch eine kleine Öffnung in der Trachea bis zu dem rechten Bronchus geschoben. Die Luft trat durch die Trachealkanüle hinein und mußte das untere Ende der Glasröhre passieren, bevor sie heraustreten konnte.

Eine dritte Methode bestand darin, daß ein Intubationsrohr nach O'Dwyer in Larynx hineingeführt wurde; Pharynx und Mundhöhle wurden mit Verbandsgaze gestopft und ein langer weicher Kautschukkatheter durch das Intubationsrohr tief in die Trachea bis zu der Bifurkation hineingeführt. Mittels einer T-Röhre trat die Luft durch das Intubationsrohr in die Trachea und konnte nur durch die seitliche Öffnung am tieferen Ende des Katheters entweichen.

In einer folgenden Mitteilung[86]) haben die Autoren ihre Methode noch weiter vereinfacht. Eine Sonde wird durch Mund und Larynx bis in den rechten Bronchus geschoben. Das äußere Ende dieser Sonde ist mittels

eines T-Rohres mit einem Manometer und einer Ätherflasche verbunden. Ihrerseits ist diese Flasche mit einem Blasebalg verbunden und durch diesen wird der Druck in der Flasche auf eine Höhe von etwa 15 mm Hg getrieben.

Zum Schluß muß noch erwähnt werden, daß bei vielen Apparaten für künstliche Respiration besondere Vorrichtungen zum gleichzeitigen Narkotisieren der Tiere vorhanden sind. Diese Vorrichtungen bestehen darin, daß auf dem Wege des in die Lungen ziehenden Luftstroms, oder auf einer Abzweigung desselben, ein Gefäß mit dem betreffenden Narkotikum hingestellt wird; mit dessen Verdunstung wird die Inspirationsluft gesättigt. (Vergl. die oben beschriebene Respirationskanüle von Guthrie[7]), welche zu demselben Zweck angewandt werden kann.) Brodie[87]) hat den Versuch gemacht, die Mengen des in die Lungen gelangenden anästhesierenden Stoffes zu graduieren.

Unlängst hat C. Tigerstedt[88]) folgenden einfachen, mit der Luftröhre zu verbindenden Narkoseapparat empfohlen. Die von dem Blasebalg gehende Luftröhre wird durch ein T-Rohr gezweigt. Der eine Zweig wird mit der Trachealkanüle verbunden und führt den Lungen die Luft zu, der andere mit einem geschlossenen, Äther enthaltenden Gefäß. Dieser Ätherbehälter ist seinerseits vermittels eines mit einer Mikrometerschraube versehenen Hahns, und weiter einer Glaskanüle und Gummischlauch mit der ersten Abzweigung der obigen T-Röhre verbunden, die die Luft den Lungen zuführt. Auf diese Weise fließt der Äther durch eigenen Druck, je nachdem wie der Hahn mit der Mikrometerschraube eingestellt ist, und es wird dadurch ermöglicht, während der künstlichen Atmung beliebige Quantitäten der Narkosemittel der in die Lungen eintretenden Luft beizumengen.

III. Die chirurgischen Operationen.

Wenn es sich um Operationen handelt, nach denen die Tiere lange Zeit leben und zu verschiedentlichen Beobachtungen und Versuchen dienen sollen, ist es, um Zeit, Mühe und Tiere zu sparen, unbedingt nötig alle möglichen Mittel anzuwenden, um eine Erkrankung und desto mehr den Tod des Tieres als zufällige Operationsfolgen zu verhüten. Wenn jemand finden sollte, daß das Erreichen des so formulierten Ziels dem Laboratorium zu teuer zu stehen käme und daß es zuweilen billiger sei, im Falle einer mißlungenen Operation seine Mühe, seine Zeit und das Tier zu opfern, so muß in Aussicht genommen werden, daß die Untersuchungen des Tiers vor der Operation oft Wochen, Monate ja sogar Jahre kosten und daß es unter solchen Umständen gar nicht berechnend wäre, das Tier durch die Unvollkommenheit des Operierens zu verlieren.

Bei unserer Ansicht über diese Sache ist natürlich die chirurgische Reinheit, die Sicherung vor dem gefährlichen Eindringen der eitererregenden Mikroorganismen, während der Operation und in der nächsten Zeit nach ihr, derjenige wichtigste Umstand, auf welchen sich alle unsere Bemühungen konzentrieren müssen. Augenscheinlich kann aber die nötige chirurgische Reinheit von den Physiologen nur dann erreicht werden, wenn

sie sich nach Möglichkeit derjenigen Einrichtung und denjenigen Handgriffen beim Operieren und bei der Pflege nach der Operation nähern werden, welche von den Chirurgen für die Operationen an Menschen ausgearbeitet sind und von ihnen verlangt werden. Außer der chirurgischen Reinheit sind die anderen Bedingungen des erfolgreichen Operierens, leichter und mit geringeren Ausgaben zu erfüllen. Übrigens bleibt uns von diesen Bedingungen, wie schon oben erwähnt, eine absolut für die Tiere ungefährliche Narkose — ein pium desiderium.

Der vorliegende Teil ist hauptsächlich auf Grund persönlicher Erfahrung zusammengestelllt. Die jahrelange operative Erfahrung überzeugt den Verfasser davon, daß man bei den physiologischen Operationen ein vollkommenes Ausschließen des zufälligen Todes erreichen kann. In den mißglückten Fällen konnte immer ein Fehler entdeckt werden; oft war es ein grober Fehler, aber durchaus kein solcher, der nicht bei strenger Aufmerksamkeit hätte beseitigt werden können. Die Sachlage beim Menschenchirurgen (ein gewisser Prozent Todesfälle) kann beim physiologischen Chirurgen nicht zur Entschuldigung der mißlungenen Fälle dienen. Der Menschenchirurg steht bei seiner Arbeit in viel schwereren Verhältnissen, da er es immer mit einem kranken Organismus zu tun hat, d. h. mit einem Organismus, der mehr oder weniger, oft sogar sehr stark, sowohl von der anatomischen wie auch von der physiologischen Norm abgewichen ist. Der physiologische Chirurg geht dagegen beinahe immer vom normalen Tier aus.

Es darf überhaupt nicht bestritten werden, daß in einem vollständigen physiologischen Laboratorium eine aparte Abteilung sowohl für das Vollziehen von chirurgischen Operationen als auch für das Halten der operierten Tiere angewiesen sein muß. Im Laboratorium, welches unter der Leitung des Verfassers steht, besteht die Operationsabteilung aus ganzen vier Zimmern, welche in einer Reihe nacheinander gelegen sind: ein Zimmer mit einer Wanne, ein Zimmer zum Vorbereiten des Tiers zur Operation, ein Zimmer, wo sich die Teilnehmer der Operation die Hände waschen, zugleich Ankleidezimmer für sterile Wäsche und schließlich das Operationszimmer. So eine große Zahl von Zimmern und so eine Lage der, wenn auch ihrer Dimension nach nicht großen Zimmer tragen sehr dazu bei, das letzte wichtigste Zimmer in möglichster Reinheit zu erhalten, denn in dieses gelangen sowohl das Tier als auch der Operateur, wenn sie vom chirurgischen Standpunkte nach Möglichkeit rein sind.

Natürlich ist so eine Anzahl von Zimmern für die Operationsabteilung nicht obligatorisch, aber mir möchte es scheinen, daß man nicht mit weniger als zwei Zimmern auskommen sollte: ein Vorbereitungszimmer, in welchem alles Vorbereitende mit dem Tier und mit den bei der Operation Beteiligten vorgenommen wird und das Operationszimmer selbst. Die Operationsabteilung muß mit Ölfarbe gestrichen sein, seine Dielen müssen aus wasserdichtem Material gemacht sein und Abflüsse haben. Die Desinfektion der Abteilung muß periodisch, je nach der Arbeit bald öfter, bald seltener und ebenfalls nach besonderen Verunreinigungsfällen vorgenommen werden. Am richtigsten ist es, die Wände, die Lage und die Diele der Abteilung mit Sublimatlösung (0,1 %) mit pulverisiertem Strahl aus einem speziellen Apparat und dann mit Wasser zu waschen.

Es sind viele Gründe vorhanden, um die Tiere nach der Operation, besonders natürlich nach ernsten und neuerdachten Operationen, in einem speziellen chirurgischen Raum in der chirurgischen Klinik, die auch einen untrennbaren Teil des Laboratoriums bildet, zu halten. Nur so ein Raum kann stets in der erforderlichen Reinheit gehalten werden, welche unmöglich wäre, in der allgemeinen Tierabteilung durchzuführen. Außerdem können nur bei steter Kontrolle, wie sie nur im Laboratorium möglich ist, alle Zufälligkeiten und alle Stadien der Nachbehandlungsperiode bemerkt und zeitig die entsprechenden Maßregeln ergriffen werden. Die klinische chirurgische Abteilung muß von den anderen allgemeinen Räumlichkeiten des Laboratoriums mehr oder weniger isoliert sein. In dem von mir geleiteten Laboratorium besteht die Abteilung aus einer Anzahl kleiner Zimmer, die in einer Reihe einem gemeinsamen Korridor gegenüber gelegen sind und mit dicken, festschließenden Türen versehen sind. Jedes Zimmer hat ein großes Fenster, gute Ventilation und kann gut erwärmt werden. Käfige befinden sich in den Zimmern nicht. Die Hunde fühlen sich in diesen Zimmern viel besser als in Käfigen. Die Hauptsache besteht aber darin, daß es viel leichter ist, Zimmer rein zu halten, als Käfige. Diese ganze Abteilung ist ebenfalls mit Ölfarbe gestrichen und hat wasserdichte Dielen mit Abflüssen. Auf der Diele oder noch besser an der Lage ist um jedes Zimmer eine Bleiröhre mit Öffnungen herumgeführt, aus welcher diese Zimmer, jedesmal wenn sie von den Tieren verunreinigt sind, mit Wasser gewaschen werden. Auf der einen Seite des Zimmers ist die Diele etwas gehoben, dabei ist sie zur Mitte hin geneigt. Diese Erhöhung wird mit einem Stück dicken Segeltuchs bedeckt, welches stets durch ein reines ersetzt wird. Auch diese Abteilung muß ebenfalls periodisch und mit denselben Mitteln, wie es oben für die Operationsabteilung beschrieben ist, desinfiziert werden.

In diesen Zimmern können leicht wegnehmbare Rahmen, an denen viereckige Säcke aus dickem Tuch ausgespannt werden, aufgestellt werden; in diesen werden für eine Zeitlang die Tiere mit verschiedenen Operationen am Gehirn placiert, denn solche Tiere stoßen sich öfters mit dem Kopf stark an die Diele und an die Wände und können natürlich dadurch den Zustand des operierten Gehirns, welches jetzt seiner normalen Stützen und Decken beraubt ist, wesentlich verschlimmern.

Wenn für die operierten Hunde spezielle klinische Abteilungen zur guten und ungestörten Heilung der beigebrachten Verwundungen nötig sind, so entspringt aus demselben Bedürfnis guter chronischer Beobachtungen und Versuche an den operierten Tieren die Notwendigkeit, stets einen guten Raum für die Tiere zu haben, wenn sie aus den klinischen Abteilungen herauskommen. Diese Räumlichkeiten sind gegenwärtig an allen physiologischen Laboratorien vorhanden. Ohne sich mit dem Planieren dieser Räumlichkeiten, welches sehr verschiedenartig sein kann, zu befassen, muß man als unumgängliche Eigenschaften dieser besonderen Gebäude für die Tiere folgende anerkennen: eine gewisse Geräumigkeit, genügende Beleuchtung, eine nicht niedrige Temperatur, Trockenheit und möglichste Reinheit. Im entgegengesetzten Falle werden die einen oder die anderen Erkrankungen, welche in Verbindung mit den ungünstigen Lebens-

bedingungen auftreten (parasitäre Hautaffektionen, rheumatische Erkrankungen usw.), die an den Tieren projektierten Untersuchungen entweder ganz unmöglich machen oder sie im höchsten Grade erschweren.

Die Vorbereitung des Tiers zur Operation wird schon am Vorabend begonnen, im Falle einer Operation am Verdauungskanal, wird dann dem Tier am Abend eine Portion Kalomel eingeführt.

Kurz vor der Operation wäscht man das Tier in einer Wanne und gibt ihm danach etwas Zeit zum Trocknen, dann wird es im Vorbereitungszimmer auf dem Tisch angebunden, dann narkotisiert man es, dann rasiert und wäscht man das Operationsfeld. Während dem Waschen wird es mehrere Male mit Karbolseife eingeseift, darauf läßt man einen starken Strahl Sublimatlösung darüber laufen; man endigt mit Äther und Alkohol. Darauf wird das Tier ins Operationszimmer gebracht. Es ist zweckmäßig, den Operationstisch (dieser ist aus Metall, wie auch alle Gerätschaften des Operationszimmers, und mit Emailfarbe gestrichen) mit einem sterilisierten Überzug zu bedecken. Das Tier wird auf dem Operationstisch auch teils mit sterilisierten Handtüchern, welche mit Hilfe von Nadeln zusammengeheftet werden, teils mit Stücken sterilisierter Gaze bedeckt, damit der Operierende, wenn er sich mit den Händen aufs Tier stützt, nicht ans Fell anzukommen braucht. Es ist am besten ums Operationsgebiet selbst mehrfach zusammengelegte Gazestücke herumzulegen, diese Gaze kann rund herum mit einzelnen Stichen an die Haut angenäht werden. Auf diese Weise wird eine vollständige Fixation der Gaze für die ganze Dauer der Operation erreicht, anders würde die Gaze immer vom Operationsgebiet hinuntergleiten. Schließlich wird, gerade vor dem Schnitt, das auf diese Weise begrenzte Feld noch einmal mit Alkohol und mit Äther abgewaschen.

Wie es uns die Erfahrung lehrt, genügt vollkommen zur Reinigung der Hände folgendes Verfahren. Die Hände werden zuerst mit einfachem Wasser, mit Seife und Bürsten gewaschen. Darauf werden sie der Wirkung eines ziemlich starken Strahls aus einer hochstehenden Flasche mit (0,1 %) Sublimatlösung ausgesetzt. Darauf werden der Reihe nach Alkohol, Äther und wieder Alkohol auf die Hände gegossen, wobei die Hände jedesmal mit sterilisiertem Material stark abgewischt werden. Schließlich werden die Hände noch einmal für ein, zwei Minuten in eine Schale mit Sublimatlösung gelegt, in welcher man die ganze Zeit energisch herumplätschert. Darauf ziehen die Operierenden sterilisierte Leinewandmäntel an, welche sie gut umfassen und gut zugebunden sind, so daß die Kleidung von ihnen überall bedeckt ist. Es ist zweckentsprechend, auf den Kopf ein sterilisiertes Käppchen anzuziehen. — Überhaupt ist es klar, wenn ein Kampf mit den Mikroorganismen geführt werden soll, so muß er folgerichtig und unabweichlich geführt werden und der Operateur muß sich dazu erziehen, um niemals durch irgendeine unbewußte Bewegung seine Hände mit anderen Gegenständen oder mit seinen Körperteilen, welche nicht der chirurgischen Reinigung unterzogen worden sind, in Berührung zu bringen.

Die ganze Operationswäsche (die Mäntel, die Handtücher, die Tischüberzüge und das ganze chirurgische Material, Watte, Gaze) wird im Verlauf von 30—40 Minuten der Sterilisation durch überhitzten Dampf bei

einer Temperatur von 125° (ein Druck von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Atmosphären) unterzogen. Da es bequem ist, die ganze Wäsche und das chirurgische Material in einem großen Sack in den Sterilisator zu legen, so ist es nützlich, in speziellen Versuchen die Zeit der gleichmäßigen Durchwärmung dieser ganzen Masse zu bestimmen, um die Zeit, welche die Sachen im gegebenen Sterilisator verweilen, zu verlängern oder zu verkürzen. Sterilisatore können von verschiedensten Konstruktionen und verschiedensten Größen erhalten werden. In dem Laboratorium, welches unter der Leitung des Verfassers steht, erwies sich ein Wiesneggscher Apparat als sehr geeignet (Autoklav).

Die Instrumente werden in dem bekannten Kochschen Apparat sterilisiert, indem man sie 15 Minuten lang in kochender (1 %-iger) Sodalösung liegen läßt. Während dar Operation werden die Instrumente in einer Schicht in einem flachen, breiten, viereckigen Porzellangefäß, welches mit absolutem Alkohol oder 2 %-iger Boraxlösung gefüllt ist, placiert. Gerade vor der Anwendung werden sie mit einem sterilisierten Handtuch abgewischt.

Es ist natürlich keine Möglichkeit vorhanden, hier das chirurgische Instrumentarium zu beschreiben oder irgendwie auf seine Besprechung einzugehen. In bezug auf alle chirurgischen Operationen ist es höchst mannigfaltig, sehr groß und beruht auf der der gegebenen Aufgabe entsprechenden Auswahl aus der unendlichen Sammlung der vorhandenen chirurgischen Instrumente der ärztlichen Chirurgen, so daß ein physiologischer Chirurg wohl kaum in die Lage kommen kann, selbst für sich die nötigen Instrumente erdenken zu müssen.

Was das Operieren selbst betrifft, so müssen hier im Vergleich zur Vivisektion nur wenige besondere Punkte erwähnt werden. Natürlich ist hier, noch mehr als bei den Vivisektionen, die vollkommene Vertrautheit mit der Anatomie der zu operierenden Region erforderlich, sowohl wie auch das vorläufige Erlernen der Technik der Operationen, sei es an Leichen oder an lebendigen Tieren, aber nicht an solchen, welche durch langdauernde physiologische Beobachtungen und Versuche zur Operation vorbereitet wurden, um nicht die angewandte Mühe einer Zufälligkeit auszusetzen.

Die Hände, was für Maßregeln man auch zu ihrer Reinigung ergreift, können doch keine Ansprüche auf absolute Reinheit erheben. Daher muß man, wo es nur möglich ist, die Berührung der Wundflächen mit den Händen vermeiden und es immer vorziehen, wenn es auch weniger bequem ist, mit den Instrumenten zu arbeiten, so z. B. muß man in der Tiefe einer Wunde die Ligaturen nicht mit den Fingern, sondern mit Pinzetten zuziehen. Während dem Operieren ist es nützlich, wenn die Hände mit Blut oder anderen Flüssigkeiten beschmiert werden, sie in einer Sublimatlösung abzuspülen, wobei man sie natürlich später mit einem Handtuch abwischt. Ebenso müssen auch die Instrumente während der Zeit, wo sie durch andere ersetzt werden, in die oben genannten desinfizierenden Flüssigkeiten gelegt werden. Schließlich ist es zweckentsprechend, wenn das Operieren in der Wunde oder in einem ihrem Teile unterbrochen wird, dieselbe mit sterilem Material zu bedecken.

Bei den chirurgischen Operationen ist es augenscheinlich wichtiger als bei den Vivisektionen, sich von der Dauerhaftigkeit der Blutstillung zu

überzeugen, indem man einem vollständigen Ausschließen späterer Blutungen nachstrebt, denn deren Auftreten würde der ganzen Sache einen größeren Schaden antun als bei einer Vivisektion. Deswegen muß hier, viel beharrlicher als bei den Vivisektionen, das Unterbinden von Blutgefäßen oder blutenden Stellen angewandt werden. Die Erfahrung der jüngsten Jahre meiner operativen Praxis hat gezeigt, daß auch hinsichtlich der Blutungen bei Operationen am Gehirn die Ligatur das richtigste Mittel ist; diese wird auch hier, einige Übung natürlich vorausgesetzt, ohne besondere Mühe angewandt. Im Falle einer Blutung aus einem Knochen (des Schädels oder anderer) ist das Anwenden von gewöhnlichem, gelbem Wachs höchst zweckentsprechend. Dazu läßt man das Wachs zuerst im Verlauf von 15 bis 20 Minuten in einer Karbolsäurelösung (2 %) kochen. Während der Operation nimmt man mit einer Metallplatte aus der noch warmen Lösung ein wenig von oben schwimmendes flüssiges Wachs, welches auf der Platte zu einer weichen Masse sich abkühlt und mit voller Bequemlichkeit zum Verschmieren des blutenden Knochens angewandt werden kann.

Überhaupt, da man die Möglichkeit einer späteren Blutung bekämpft, muß man mit dem Schließen der Wunde nicht eilen und sie immer, besonders aber in verdächtigen Fällen, eine Zeitlang offen lassen, um die Blutungen, welche aus dem einen oder anderen Grunde zeitweise gestillt sein können, zu entdecken.

Bei den chirurgischen Operationen muß man, wiederum mehr als bei den Vivisektionen, ohne sich durch die Dimensionen der Verwundung genieren zu lassen, die Operation möglichst genau ausführen, indem man, ohne zu schwanken, das gewählte Ziel verwirklicht, denn jetzt kann nach der Verheilung der Wunde eine Verbesserung nicht so leicht wie bei der Vivisektion gemacht werden. Im letzteren Falle bietet sich die leichte Möglichkeit, wenn durch den Versuchsverlauf die regelrechte Vollziehung der Operation in Frage gestellt wird, die Operation sofort noch einmal zu kontrollieren und, wenn es nötig ist, sie gleich in entsprechender Weise zu ergänzen. Bei den chirurgischen Operationen dagegen kostet die Verbesserung eines Fehlers, wenn sie überhaupt möglich ist, einen großen Aufwand an Zeit, Mühe und Mitteln. In den Fällen, wenn eine spezielle Reinigung der Wunde verlangt wird, wie z. B. beim Öffnen des Verdauungskanals, wird die Wunde reichlich mit sterilisierter physiologischer Kochsalzlösung, welche bis zur Körpertemperatur erwärmt ist, ausgespült und dann mit sterilisiertem Material abgetrocknet.

Das Zunähen der Wunde wird gewöhnlich schichtenweise vorgenommen. Das Zunähen der Hautwunde muß besonderer Sorgfalt gewürdigt werden. Erstens darf hierbei nicht die geringste Blutung stattfinden, d. h. durch die zusammengenähten Ränder darf kein Blut durchsickern. Wenn eine Blutung vorhanden ist, so muß sie gestillt werden. Zweitens müssen die Ränder der Wunde nach Möglichkeit genau aneinander gelegt sein und zu einander in vollkommen natürlichen Verhältnissen stehen, d. h. nicht im geringsten eingestülpt sein und sich auf gleicher Höhe befinden. Beides wird dadurch erreicht, daß der Gehilfe die Ränder in der richtigen Lage hält, während der Operateur die Ligaturen zubindet, als auch dadurch, daß der Operateur auf die Ligaturen den entsprechenden Zug ausübt. Das Zunähen selbst kann

entweder auf die gewöhnliche Art vollzogen werden, indem man die ganze Hautschicht in einem Abstand von einigen Millimetern vom Schnittrande durchsticht oder auf eine etwas andere Weise. Nach dieser anderen Art werden die Nadeln am Rande, welcher von der Hautoberfläche und der zu ihr senkrechten Schnittfläche gebildet wird, hineingestochen und herausgezogen, und zwar von der Seite der Schnittfläche.

In diesem Falle ist die Ligatur von außen beinahe gar nicht zu sehen. Über die verschiedenen Arten der Naht ist in den entsprechenden chirurgischen Büchern nachzulesen.

Natürlich muß die zugenähte Wunde verschlossen werden, es fragt sich nur wie? Leider ist ein Verband aus sterilisiertem Material bei Tieren nicht ohne Schwierigkeiten anwendbar. Ein einfach gemachter Verband gleitet entweder von seinem Platz oder wird vom Tier abgerissen. Natürlich kann der Verband durch verschiedenartiges Festbinden und Ankleben (z. B. mit Hilfe von Heftpflaster) befestigt werden, aber alles das läßt viel zu wünschen übrig. Sicherer ist es, große Teile des Körpers, z. B. den ganzen Rumpf, die ganze hintere Partie des Tiers usw., in vollständige Säcke, oder sogar in unbewegliche, festwandige Verbände, Gips-, Stärkeverband usw., zu verschließen. Am einfachsten aber ist das sorgfältige Zugießen der zugenähten Wunde mit Kollodium und dadurch wird auch meistens glücklich das Ziel erreicht. Man muß nur die Oberfläche, welche zugegossen werden soll, zuerst mit Alkohol und Äther gut reinigen und trocknen lassen und eine möglichst dünne Kollodiumschicht anwenden, damit sie nach dem Antrocknen nicht zerbrechlich werde, sondern vollständig elastisch bleibe. Bei weitem die größere Mehrzahl der Wunden heilt dabei, ohne weitere Sorgen zu verursachen, per primam intentionem. In dem Falle, wenn sich in der Kollodiumschicht Risse erweisen, ist es nützlich, sie mit Jod zu verschmieren.

Literatur.

E. Cyon. Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen. 1876.

Gscheidlen, Physiologische Methodik. 1876.

Claude Bernard, Leçons de physiologie opératoire. Paris 1879.

Ch. Richet, Dictionnaire de physiologie. Chien, Chat et autr. expériment. animaux.

1) Roussy, Collier-préhenseur pour chien etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 520. — Derselbe, Collier-préhenseur perfectionné, rétrécissable et limitable à distance, pour chien etc. Ebenda 1899, S. 558.

2) Bowditch, Physiological apparatus in use at the Harvard Medical School. Journ. of. Physiol. II, S. 202.

3) Roussy, Mors immobilisateur. R. C. de la Soc. de Biol. 1899, S. 288.

4) Livon, Manuel de vivisection. Paris 1882, S. 22 u. folg.

5) Cowl, Ein allgemeiner Tierhalter und Operationsbrett. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1896, S. 185.

6) Roussy, Nouveau matérial d'attache et d'immobilisation à l'usage de physiologiste et des vétérinaires etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1894, S. 264.

7) Cowl, Über eine neue Maulsperre für Tiere. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1898, S. 143.

8) Grossmann, Experimentelle Beiträge zur Lehre von der „Posticuslähmung". Archiv f. Laryngologie, Bd. IV, S. 315.

9) Roussy, Mors ouvre-gueule pour chien etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 286.

10) Roussy, Nouveau matérial d'attache et d'immobilisation à l'usage des physiologistes, vétérinaires etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1894, S. 408.

11) Malassez, Nouvel appareil à contention pour chiens. C. R. de la Soc. de Biol. 1890, S. 319.

12) Johansson, Ein neues Stativ für operative Tierversuche. Skand. Archiv f. Physiol. VIII, S. 143.

13) Centanni, Notiz über experimentelle Technik. Zentralbl. f. Bakteriologie. Bd. XVIII, S. 281.

14) Steinach, Ein Kopfhalter für Versuchstiere verschiedener Größe. Pflügers Archiv, Bd. 53, S. 171.

15) Fredericq, Manipulations de physiologie. Paris 1892.

16) Malassez, Nouveau système d'appareils à contention pour lapins, cobayes et rats. C. R. de la Soc. de Biol. 1890, S. 77.

17) Malassez, Sur les appareils à contention. C. R. de la Soc. de Biol. 1892, S. 947.

18) Steinach, l. c. (Nr. 14). Vergl. Malassez, Kontentivapparat für Vivisektion. Pflügers Archiv LIII, S. 585 und Steinach, Bemerkung betreffend den Kontentivapparat für Vivisektion nach Dr. Malassez. Ebenda LIV, S. 552.

19) Debrand, Note sur un nouvel appareil à contention. Annales de l'Institut Pasteur XIV, S. 249.

20) Roussy, Muselière immobilisatrice universelle pour oiseaux etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 556.

21) L. Morochowecz, Apparate und Instrumente der physiologisch-praktischen Arbeiten des physiologischen Laboratoriums bei der Universität zu Moskau. Bd. IV, S. 472, 1893 (russisch).

22) Voinitch-Sianogensky, Table d'opération pour les animaux. Arch. des sciences biol. Bd. IV, S. 465.

23) Centanni, Notiz über experimentelle Technik. Zentralbl. f. Bakteriologie, Bd. XVIII, S. 281.

24) Roussy, Serre-pattes pour immobiliser les animaux sans les blesser. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 308.

25) Janowski, Eine einfache und bequeme Modifikation der Tierfixierung bei physiologischen Experimenten. Zentralbl. f. Physiol., Bd. XV, S. 226.

26) Camus, Procédé de contention des animaux opérés. C. R. de la Soc. de Biol. LIV, S. 1512.

27) Cowl, Ein allgemeiner Tierhalter und Operationsbrett. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1896, S. 185.

28) Johansson, Ein neues Stativ für operative Tierversuche. Skand. Archiv f. Physiol. VIII, S. 143.

29) Roussy, Nouveau matérial d'attache et d'immobilisation etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1894, S. 522.

30) Livon, Manuel de vivisections. Paris 1882, S. 22 u. folg.

31) Roussy, Table d'immobilisation pour chien etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 306.

32) Debrand, Note sur un nouvel apparail à contention. Annales de l'Institut Pasteur XIV, S. 249.

33) Malassez, Perfectionnement apporté à mes appareils à contention: lit grillagé d'opération. „Centenaire de la Soc. de Biol." Paris 1899, S. 570.

34) Roussy, Table de dissection et de démonstration. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 412.

35) Rost, Ein heizbarer Operationstisch für Tiere. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1900, S. 363.

36) **Dietrich**, Ein neuer Operationstisch für Kaninchen. Zentralbl. f. Bakteriologie, Bd. XXX, S. 256.

37) **Roussy**, Tablettes d'immobilisation pour petits quadrupèdes: lapins, cobayes, grenouilles etc. C. R. de la Soc. de Biol. 1899, S. 411.

38) **Latapie**, Nouvel appareil à contention. Annales de l'Institut Pasteur VIII, S. 668.

39) **Queyrat**, Appareil à contention pour les cobayes. C. R. de la Soc. de Biol. 1893, S. 262.

40) **Ch. Richet**, Dictionnaire de physiologie. Chorolose. 1898.

41) **A. Dastre**, Les anesthésiques. 1890.

42) **N. P. Krawkow**, Über die Hedonal-Chloroform-Narkose. Archiv f. experiment. Pathol. u. Pharmakol., Suppl.-Bd. 1908.

43) **R. Boehm**, Das südamerikanische Pfeilgift Kurare. Abhandl. d. königl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch., Bd. XXII und XXIV; auch Archiv. d. Pharm. Bd. 235, 1897.

44) **R. Boehm**, Chemische Studien über das Kurare. Beiträge zur Physiologie. Carl Ludwig-Festschrift. Leipzig 1887.

45) **J. Tillie**, Über die Wirkung des Kurare und seiner Alkaloide. Archiv f. experiment. Pathol. u. Pharmakol., Bd. 27, 1890.

46) **Malassez**, Présentation d'instrument. C. S. de la Soc. de Biol. 1886, S. 355.

47) **Straus et Collin**. C. R. de la Soc. de Biol. 1886, S. 30.

48) **Malassez**, Perfectionnements apportés aux seringues tout en verre et sterilisable. C. R. de la Soc. de Biol. 1891, S. 71.

49) **Mareschal**, Injektion hypodermique sans piston n'exigeant aucun entretien et facilement stérilisable. C. R. de la Soc. de Biol. 1895, S. 298.

50) **Rochon**, Seringue hypodermique sans piston. C. R. de la Soc. de Biol. 1897, S. 222.

51) **d'Arsonval**, Sur un procédé pour obtenir des seringues stérilisables de grande capacité. C. R. de la Soc. de Biol. 1891, S. 92.

52) **Straus et Collin**, Sur une seringue à injection hypodermiques stérilisable, à piston en moelle de sureau. C. R. de la Soc. de Biol. 1891, S. 69.

53) **d'Arsonval**, Présentation d'une seringue à injections hypodermiques de M. Gudendag. C. R. de la Soc. de Biol. 1894, S. 194.

54) **Malassez**, Seringue toute en verre de M. Woulfing-Luër. C. R. de la Soc. de Biol. 1894, S. 689.

55) **Mermet et Major**, Seringue stérilisable métallique. C. R. de la Soc. de Biol. 1897, S. 870.

56) **Fournier**, Nouvelle seringue stérilisable. C. R. de la Soc. de Biol. 1897, S. 270.

57) **Spiegel**, Eine selbstwirkende Injektionsspritze. Wien. klin. Wochenschrift XV, S. 340.

58) **Malassez**, Seringue pour injection de sérums. C. R. de la Soc. de Biol. 1894, S. 754.

59) **Duflocq**, Seringue à injection hypodermique aseptique. C. R. de la Soc. de Biol. 1893, S. 885. Vergl. ebenda S. 925.

60) **Burlmeaux et Guerder**, Note sur l'injection sous-cutanées copieuses et lentes, faites au moyen d'appareils spéciaux. Arch. de physiologie 1894, Bd. VI, S. 135.

61) **Brauer und Petersen**, Über eine wesentliche Vereinfachung der künstlichen Atmung nach Sauerbruch. Zeitschr. f. physiol. Chemie XLI, S. 299.

62) **Rosenthal**, Atembewegungen und Innervation derselben. Hermanns Handbuch d. Physiol. 1882, Bd. VI, Teil 2, S. 239.

63) **Livon**, Manuel de vivisections. Paris 1882, S. 55.

64) **Gad**. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1878, S. 559 u. folg.

65) **Wintrich**, Krankheiten der Respirationsorgane. Virchows Handbuch d. spez. Pathol. und Ther. 1854, Bd. V, Abt. 1, S. 211.

66) **Czermak**, Eine neue Kanüle zur künstlichen Atmung. Mitteil. aus d. physiol. Privatlaboratorium in Prag 1864, Heft 1, S. 65.

67) Guthier, Respiration valves. The Journal of the American Medical Association, April 6, 1907.

68) Ranvier, Traité technique d'histologie. S. 463.

69) Gréhant, Note sur un appareil pour la respiration artificielle. Arch. de physiol. norm. et pathol. 1870, Bd. 3, S. 304.

70) Lewin, Über einen Apparat für die künstliche Respiration. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1879, S. 36.

71) Lukjanow, Über eine einfache automatische Vorrichtung zur Herstellung der künstlichen Atmung bei Tieren. Zentralbl. f. Physiol., Bd. II, S. 235.

72) Dutto, Apparat für künstliche Atmung der Tiere. Pflügers Archiv, Bd. LXIII. S. 575.

73) Miescher, Der „Atemschieber". Zentralbl. f. Physiol., Bd. II, S. 341.

74) Bowditch, Physiological apparatus in use at the Harvard Medical School. Journ. of Physiol., Bd. II, S. 202.

75) Gad, Über Kroneckers Vorrichtung zur künstlichen Lungenlüftung bei Tieren. Zentralbl. f. Physiol., Bd. II, S. 240.

76) Hoyt, An apparatus for artificial respiration and for other purposes. Journ. of Physiol., Bd. XXVII, S. 48.

77) Straub, Ein einfacher Apparat zur Unterhaltung der künstlichen Atmung an Versuchstieren. Pflügers Archiv, Bd. CXIX, S. 549.

78) Thiry, Des causes des mouvements respiratoires et de la dyspnée. Recueil des travaux de la Soc. méd. All. de Paris 1865, S. 57.

79) Zuntz, Über die Bewertung kuraresierter Tiere zu Stoffwechseluntersuchungen. Du Bois-Reymonds Archiv 1884.

80) Rosenthal, Apparat zur künstlichen Atmung. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1885, S. 400.

81) Rosenthal, Über künstliche Atmung. Archiv f. (Anat. u.) Physiol 1889. S. 64. — Derselbe, Kalorimetrische Untersuchungen. Ebenda 1894, S. 248 u. folg.

82) Mayer, Zwei neue Laboratoriumsapparate. Archiv f. experiment. Pathol. und Pharmakol., Bd. 47, S. 426.

83) Lehmann, Über zwei Apparate zur künstlichen Respiration der Tiere. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1883, S. 459.

84) Ewald, Apparate zur künstlichen Atmung und Verwendung eines kleinen neuen Wassermotors. Pflügers Archiv, Bd. XXXI, S. 154.

85) J. Meltzer und J. Auer, Respiration by continuous intra-tracheal insufflation of air. Proceedings of the Society for Exp. Biol. and Medicine. 7, S. 26, 1910.

86) S. J. Melzer und J. Auer, Respiration by continous interpulmonary pressure without the aid of muscular action. Proceedings of the society for experim. Biol. and Med. VI, S. 106. 1909.

87) Brodie, A tap for graduating the amount of anaesthetic in experiments in which respiration in being employed. Journ. of Physiol., Bd. XXVII, S. XXXII.

88) Carl Tigerstedt, Ein Apparat zur Narkose bei künstlicher Atmung. Zeitschr. f. biolog. Technik und Methodik, Bd. 1, S. 175.

II.

Die photographische Registrierung

von

S. Garten in Gießen.

(Mit 25 Figuren und 1 Tafel.)

Durch Verwendung der Photographie hat die physiologische Methodik eine mächtige Förderung erfahren, denn mit ihrer Hilfe gelingt es leicht, viele Lebensvorgänge, die sich schließlich in Bewegungen umsetzen lassen, im Bilde festzuhalten, wo die direkte mechanische Registrierung völlig versagt.

Während man noch vor wenigen Dezennien gezwungen war, um genügend große Kurven eines Bewegungsvorganges zu erhalten, lange Hebel mit großen Trägheitsmomenten zu verwenden, erscheint es uns jetzt als ganz selbstverständlich, daß wir, wenn es sich um rasch ablaufende Vorgänge handelt, den gewichtslosen „Lichthebel" zur Aufzeichnung heranziehen. Und wenn früher irgendein Bewegungsvorgang ein zu kleines Ausmaß besaß, wenn vielleicht der bewegte Körper in der Sekunde nur wenige Tausendstel eines Millimeters durchmaß, so mußte man, soweit nicht das beobachtende Auge direkt den Weg ablesen konnte, von jeder Registrierung absehen. Jetzt, bei der Vervollkommnung der optischen Hilfsmittel, wird man nicht mehr davor zurückschrecken, einen Vorgang tausendfach vergrößert und in zahlreicher, vielleicht tausendfacher Wiederholung in der Sekunde aufzunehmen. Auch für die Feststellung der räumlichen Lage eines Organes oder größeren Organkomplexes, eines Individuums bei seinen verschiedensten Bewegungen während kleinster Bruchteile einer Sekunde ist die Photographie sehr geeignet. Selbst für die Farbenänderungen, die sich am lebenden Organismus vollziehen, ist durch die Farbenphotographie die Aussicht gewonnen, ziemlich getreu ihre einzelnen Phasen wiederzugeben.

Trotz des hohen Standes der photographischen Technik und trotz der zahlreichen Hilfsmittel, die sich durch die weite Verbreitung der Liebhaberphotographie entwickeln mußten, sind die photographischen, als wissenschaftliche Belege dienenden Abbildungen oft recht unvollkommen, und es liegt nicht immer nur an der Reproduktionsanstalt, wenn man das, worauf es in dem Bilde ankommt, selbst bei dem besten Willen überhaupt nicht sehen kann. Es dürfte daher auch in diesem Werke angebracht sein, zunächst, ganz kurz wenigstens, die wichtigsten technischen Methoden des photographischen Prozesses hier anzuführen, wobei als selbstverständlich gelten kann,

daß dem Leser in den Hauptzügen bereits der Prozeß der photographischen Bilderzeugung bekannt ist. Insbesondere wird es hier darauf ankommen, die besten und erprobtesten Rezepte für die einzelnen photographischen Prozeduren zur Verfügung zu haben. Die betreffenden Rezepte sind dem ausführlichen Handbuche der Photographie von Eder [1]) entnommen.

Die photographischen Registriermethoden sollen in nachstehender Reihenfolge besprochen werden. Zuerst wird die Photographie der einzelnen Bewegungsphasen behandelt und dann die fortlaufende photographische Registrierung eines sich nur in einer Richtung bewegenden Punktes. Die Anwendung dieser zweiten Methode, der „Linearkinematographie", wie sie Cowl [2]) nennt, ist die am allerweitesten entwickelte. Alle, selbst die geringsten und am raschesten erfolgenden Bewegungen eines Organismus lassen sich mit ihr verzeichnen, und ebenso alle anderen Vorgänge, die sich schließlich in Bewegungsvorgänge überführen lassen. Und das ist ja bei fast allen Veränderungen in unserem Organismus der Fall.

I. Die photographischen Prozesse.

1. Der Negativprozeß.

Da es bei den Registrierungen physiologischer Vorgänge meistens darauf ankommt, auch bei großer Geschwindigkeit der Schreibfläche noch eine ausreichende Schwärzung der vom Licht getroffenen Teile zu erzielen, verwendet man jetzt fast ausschließlich als lichtempfindlichen Körper das Bromsilber, da dieses die anderen Silberhaloide weit an Empfindlichkeit übertrifft. Das Bromsilber wird gegenwärtig als Emulsion gebraucht, und zwar dient als Emulgens in der Regel Gelatine, die auf Glasplatten, Celluloid und Papier ausgegossen werden kann. Der Träger der Emulsion ist nicht ganz einflußlos auf die Eigenschaften der lichtempfindlichen Schicht, insbesondere kann durch den Träger eine allmähliche Veränderung des Bromsilbers auch ohne Einfluß des Lichtes von statten gehen. Am wenigsten soll in dieser Hinsicht die Glasplatte auf die Emulsion einwirken, nur ist leider ihre Anwendung gerade bei der photographischen Registrierung ziemlich beschränkt.

Die verschiedene Empfindlichkeit der Bromsilberemulsion ist mit von der Größe der in ihr enthaltenen Bromsilberteilchen abhängig. Bei dem sogenannten Reifungsprozeß der bei höherer Temperatur noch flüssigen Emulsion werden die Bromsilberteilchen immer gröber und zugleich nimmt die Lichtempfindlichkeit mehr und mehr zu. Es ist das für feinere Messungen ein wichtiger Punkt, denn wenn man notgedrungen, um einen sehr rasch ablaufenden Bewegungsvorgang noch verzeichnen zu können, eine sehr empfindliche Platte anwendet, so machen sich schon bei Lupenvergrößerungen die Körnerbildungen in der Platte störend bemerkbar.

Um die Empfindlichkeit einer bestimmten Plattensorte festzustellen, wird jetzt in der Regel das Sensitometer von Scheiner*) verwendet. Bei diesem

*) Früher war meist das auf einer weniger exakten Grundlage konstruierte Sensitometer von Warnercke in Gebrauch. Platten von 12—15° W waren wenig empfindlich, während solche von über 20° W sich zu Momentaufnahmen eigneten.



Apparat wird eine stufenweise Intensitätsschwächung des auf die lichtempfindliche Schicht in 1 Minute wirkenden Lichtes einer bestimmten Benzinlampe vorgenommen. Die Verminderung der Lichtintensität ist durch eine für verschieden abgestufte Belichtungen geeignete Episkotisterscheibe zu erhalten. Man bestimmt dann, bis zu welcher Belichtungsstärke herab auf der photographischen Platte nach der Entwicklung noch eine Schwärzung wahrzunehmen ist. Nach Eder würde sich für Porträtaufnahmen beispielsweise eine Trockenplatte von 10 Grad Scheiner eignen, für Momentaufnahme eine solche von 16—17 Grad Scheiner, während man bei Reproduktionen solche von etwa nur 4 Grad Scheiner benutzt. Diese letzteren sind zwar sehr unempfindlich, besitzen aber dafür ein sehr feines Korn. Umgekehrt wird man bei den Momentplatten eine verhältnismäßig stärkere Körnung der Schicht mit in Kauf nehmen müssen, so daß eine viel weitergehende Vergrößerung der Aufnahme ausgeschlossen ist.

Über die Eigenschaften des latenten Bildes, wie es durch eine kurzdauernde Belichtung erzeugt wird, herrscht noch nicht volle Klarheit. Man vermutete, daß durch die Einwirkung des Lichtes aus dem Bromsilber ein Silbersubbromid (z. B. Halbbromsilber) entstünde, das die Fähigkeit besäße, sich leichter als das unveränderte Bromsilber durch eine Reihe reduzierend wirkender Stoffe in metallisches Silber überführen zu lassen.*)

Einer anderen Annahme, daß sich bei der Belichtung bereits kleinste Ag-teilchen bilden, stand die Beobachtung entgegen, daß das unsichtbare Lichtbild der exponierten Platte durch Salpetersäure nicht zerstört würde. Neuerdings nimmt Lüppo-Cramer[4]) an, daß doch solche Ag-keime bei der Belichtung frei werden, diese sich aber mit AgBr so fest verbinden, daß ihre Löslichkeit in Salpetersäure aufgehoben ist. Es wäre das eine Absorptionsverbindung von kolloidem Silber mit dem Brom- oder Chlorsilbergel.

Man bezeichnet diejenigen Reduktionsmittel, die nur belichtetes Bromsilber, aber erst nach längerer Einwirkung unbelichtetes Bromsilber reduzieren, als chemische Entwickler. Es hat sich in neuerer Zeit herausgestellt, daß

*) So führt Luther[3]) den Vorgang der Belichtung darauf zurück, daß ein Teil des Bromsilbers zu Halbbromsilber durch das Licht umgewandelt wird. „Bei der Berührung mit dem Entwickler wird das Halbbromsilber zu Silber reduziert und gibt den Keim, an dem das noch intakte Bromsilber durch den Entwickler zu Silber reduziert werden kann.“ Der für die Empfindlichkeitssteigerung der Emulsion wichtige Reifungsprozeß, wie er durch längere Erwärmungen etc. eingeleitet wird, soll ebenfalls darauf beruhen, daß, wie durch die Belichtung, so auch durch die Gelatine, das Bromsilber zu Halbbromsilber reduziert wird. Wird die Reifung nicht zu weit getrieben, so haben die Halbbromsilberteilchen noch nicht die genügende Größe, um bei ihrer Reduktion durch die Entwicklung genügend große Silberkeime zu liefern. Bekanntlich tritt bei übertriebener Reifung, also bei besonders hochempfindlichen Platten, eine Reduktion auch ohne Lichtwirkung, d. h. Schleierbildung, ein. Das Wesen der Empfindlickeitssteigerung durch den Reifungsprozeß wird im Sinne der Halbbromsilbertheorie von Luther sehr klar in folgendem Satze ausgedrückt: „Je größer nämlich die Halbbromsilberteilchen durch das Reifen geworden sind, um so weniger Arbeit bleibt dem Licht zu tun übrig, um sie auf die Größe zu bringen, welche für die Keimwirkung erforderlich ist.“ Dafür, daß der Reifungsprozeß und die Belichtung dieselben chemischen Vorgänge auslöst, spricht der Umstand, daß man statt des Reifens in bekannter Weise die Empfindlichkeit nach Luther ebensogut durch ein ganz schwaches Vorbelichten steigern kann.

außerordentlich zahlreichen organischen Präparaten diese Fähigkeit, das belichtete Bromsilber zu reduzieren, zukommt. Auf einige der wichtigsten Entwickler wird weiter unten noch eingegangen werden. Da durch länger dauernde Lichtwirkung, auch ohne Entwicklung, Bromsilber zu metallischem Silber reduziert wird, so würde durch die Entwicklung einer belichteten Bromsilberplatte zwar ein Bild sichtbar werden, dasselbe aber sehr bald wieder verschwinden, wenn man nicht imstande wäre, das unzersetzte Bromsilber vor weiterer Belichtung aus der Platte zu entfernen. Dies ist entweder möglich durch eine Lösung von Cyankalium oder, was sich wegen der Ungiftigkeit für den täglichen Gebrauch mehr empfiehlt, durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron. Und zwar würde die Reaktion nach folgender Gleichung sich vollziehen:

$$2\,AgBr + Na_2S_2O_3 = 2\,NaBr + Ag_2S_2O_3\,.$$

Das entstandene $Ag_2S_2O_3$ löst sich aber im Überschuß des unterschwefligsauren Natrons auf. In ähnlicher Weise würde bei unvollständiger Entwicklung auch noch das vorhandene hypothetische Silbersubbromid gelöst werden, ja nach Eder soll sogar, wenn eine Platte 24 Stunden oder noch länger im Fixierbad liegen bleibt, durch den Sauerstoff der Luft das reduzierte Silber der Platte allmählich angegriffen werden.

Bei der hohen Lichtempfindlichkeit der Bromsilberemulsion gegen alles kurzwelligere Licht gilt es als Regel, zur Beleuchtung einer Dunkelkammer nur langwelliges rotes Licht anzuwenden. Das früher vielfach gebrauchte gelbe Licht ist für die Trockenplatte durchaus nicht indifferent. Aber auch rein rotes Licht vermag bei hinreichend großer Intensität eine diffuse Schwärzung der Platte und damit eine Schleierung herbeizuführen. Es gilt daher als Regel, beim Einlegen der Platten oder Films und in den ersten Minuten der Entwicklung, die Beleuchtung auch mit dem roten Lichte möglichst zu verringern. Aber selbst die Beleuchtung mit rotem Licht muß vermieden werden, wenn es sich um orthochromatische oder panchromatische Platten handelt, bei denen die Empfindlichkeit bis zu dem roten Ende des Spektrums ziemlich die gleiche ist. Es empfiehlt sich daher auch, die Entwicklungsschalen in größeren schwarz gestrichenen Holzkisten aufzustellen, bei denen durch einen weit überreichenden Deckel jeder Lichteinfall, selbst wenn plötzlich im Dunkelzimmer Tagesbeleuchtung hergestellt würde, ausgeschlossen ist. Man hat dadurch auch den Vorteil jederzeit, auch bei einfachem Türverschluß, das Dunkelzimmer verlassen zu können.

Entwicklung.

Von den zahllosen Entwicklern seien hier nur diejenigen angeführt, deren Stammlösungen hinreichend haltbar sind, und bei deren Gebrauch die Hervorrufung des Bildes nur wenig Zeit kostet. Untenstehende Rezepte für Entwickler sind aus Eders Lehrbuch entnommen und von mir sämtlich versuchsweise verwendet worden. Insbesondere habe ich solche angeführt, die für kurz exponierte Platten*) zu empfehlen sind.

---

*) Anmerkung. Um über die Brauchbarkeit der verschiedenen Entwickler beim Hervorrufen sehr schwach belichteter Teile auf unbelichtetem Grund mir ein Urteil zu bilden, habe ich einige einschlägige Versuche angestellt. Es wurde auf den hochempfindlichen Planfilms von Schleußner mein mittels Episkotister gewonnenes System weißer Linien aufgenommen (vergl. unten S. 118). Das von einer Nernstlampe kommende Licht wurde



1. Eisenoxalat-Entwickler.

Lösung A:	Neutrales oxalsaures Kali .	100 g
	Aqua dest.	300 „
Lösung B:	Eisenvitriol	100 „
	Aqua dest.	300 „
	konz. Schwefelsäure . . .	5 Tropfen

Von beiden Lösungen ist Lösung B bei unvollkommenem Luftabschluß nur ca. eine Woche lang haltbar und muß, sobald Gelbfärbung eintritt, erneuert werden. Zur Entwicklung nimmt man von Lösung A 3, von Lösung B 1 Teil. Zu reichlicher Zusatz von B gibt Trübungen und ist daher zu vermeiden. Um möglichst kontrastreiche Bilder zu erhalten, setzt man auf 100 cbcm Entwickler 2—10 Tropfen einer Bromkaliumlösung 1:10 zu. Die Wirkung des Bromkaliums soll nach Luther darauf beruhen, daß die Bromionen auf den Reduktionsvorgang einen hemmenden Einfluß ausüben, wie er in gewissen Grenzen schon durch die bei der Reduktion des Bromsilbers frei werdenden Bromionen bewirkt wird.

Sind die Platten stark unterexponiert, so läßt sich der Entwicklungsprozeß dadurch begünstigen*), daß man die Platte zuvor 1 bis höchstens 2 Minuten in einer Fixiernatronlösung 1:3000 badet und sie dann sofort in den Entwickler überträgt. Die Entwicklungsdauer beträgt bei einem normal exponierten Bild bei Zimmertemperatur ungefähr 5 Minuten.

2. Pyrogallol-Sodaentwickler.

Lösung A:	Schwefligsaures Natrium**) . . .	100 g
	Aqua dest.	500 „
	Pyrogallol	14 „
	Schwefelsäure	6 Tropfen

durch einen Keilspalt und ein keilförmiges mit Kalium-bichromicum gefülltes Gefäß in der Weise abgeschwächt, daß die Lichtintensität auf dem belichteten Streifen von unten nach oben außerordentlich rasch abnahm. Ein in dieser Weise exponierter Film wurde in 8 vertikale Streifen zerschnitten und jeder Streifen in einem anderen der obengenannten Entwickler so lange entwickelt, daß eben kein stärkerer allgemeiner Schleier eintrat. Die nötige Entwicklungsdauer hatte ich bei einigen Vorversuchen für die einzelnen Entwickler ermittelt.

Für die Hervorrufung des Bildes bei der schwächsten Belichtung erscheint der Entwickler am geeignetsten, bei dem die im Negativ schwärzlichen Streifen am weitesten gegen das unbelichtete Ende des Filmstreifens noch erkennbar bleiben. Dies war bei dem auch von der Firma Schleußner besonders empfohlenen Metolsodaentwickler der Fall. Die Streifenlänge betrug hier 20,2 mm, während sie beim Eisenoxalat nur den Wert von 12.6 mm hatte. Zwischen diesen beiden Extremen (und zwar zwischen 14,1 und 16.9 mm) liegen die Werte für die anderen Entwickler.

Ich verzichte auf Darstellung weiterer Einzelheiten, da für eine genauere Auswertung nicht genügend Versuche gemacht wurden. Jedenfalls habe ich seit jenen Beobachtungen für kurz exponierte Aufnahmen mich mit gutem Erfolg ausschließlich des Metolsodaentwicklers bedient, mit einer Entwicklungsdauer von 4—4¼ Minuten.

*) Nach Luther[3]) ist die Wirkung des Fixiernatrons dadurch zu erklären, daß dasselbe Bromsilber löst, und dadurch auch indirekt solche Bromsilberteilchen reduziert werden können, welche nicht direkt in Berührung mit dem Silberkeim sind. „Sie (d. h. die Bromsilberteilchen) werden gelöst, die Silberlösung verbreitet sich nach allen Seiten und wird dort, wo sie auf den Silberkeim trifft, reduziert. Es wird also so zu sagen durch das Fixiernatron der Transport des Bromsilbers erleichtert".

**) Der bei den folgenden Entwicklern empfohlene Zusatz von Natriumsulfit hat die Bedeutung, daß die Verbindungsgeschwindigkeit des Natriumsulfits mit Sauerstoff größer ist, als die der organischen Entwicklungssubstanzen, und dadurch die letzteren vor einer vorzeitigen Oxydation geschützt werden. Auf Bromsilber wirkt Natriumsulfit dagegen nur sehr wenig reduzierend ein, im Vergleich zur Reduktionswirkung der organischen Entwickler (Luther[3]), S. 68).

Lösung B: Krist. kohlensaures Natron*) . . 50 g
Aqua dest. . . . . 500 „

Man mischt für mehrfachen Gebrauch gleiche Teile von A, B und von Wasser. Gebrauchter Entwickler macht die Negative leicht härter und kontrastreicher und eignet sich nicht für unterexponierte Negative. Hier kann als Beschleuniger auf 100 cbcm Entwickler 2—3 Tropfen Ammoniaklösung 1:3 Verwendung finden.

3. Pyrogallol-Pottasche-Entwickler.

Lösung A:	Aqua dest.	100 cbcm
	Krist. schwefligsaures Natron .	25 g
	Konz. Schwefelsäure	3—4 Tropfen
	Pyrogallol	10 g
Lösung B:	Aqua dest.	200 cbcm
	Kohlensaures Kalium	90 g
	Neutrales schwefligsaures Natron	25 „

Man nimmt auf 100 cbcm Wasser 3 cbcm der Lösung A und 3 cbcm der Lösung B. Der Entwickler wirkt sehr energisch und die Entwicklung ist bereits in 2—3 Minuten beendet.

4. Hydrochinon-Entwickler.

Lösung A:	Aqua dest.	900 cbcm
	Natriumsulfit . . .	40 g
	Gelbes Blutlaugensalz	120 „
	Hydrochinon	10 „
Lösung B:	Aqua dest.	100 cbcm
	Ätzkali	50 g

Es werden 60 cbcm von A mit 6 cbcm von B gemischt.

Das Bild erscheint in wenigen Sekunden und seine Entwicklung ist in einer halben bis einer Minute beendet.

5. Brenzkatechin-Entwickler.

Natriumsulfit . . .	100 g
Ätznatron	14 „
Aqua dest. . . .	300 cbcm

Hierzu wird die Lösung von 20 g Brenzkatechin in 100 cbcm Wasser zugesetzt.

Dieser gemischte Entwickler ist verkorkt lange haltbar, und man nimmt für die Entwicklung 1 Teil Stammlösung auf 15 Teile Wasser. Dieser Rapidentwickler soll sich besonders für zu kurz exponierte Platten eignen.

6. Rodinal-Entwickler.

Die Lösung von Paramidophenol kommt als konzentrierter Rodinalentwickler gebrauchsfertig in den Handel. In einer Verdünnung 1:20 werden die Negative rasch und kontrastreich entwickelt, wie es meist für die photographisch registrierten Kurven erforderlich ist.

7. Gemischter Metol-Hydrochinonentwickler.

Aqua dest.	1000 cbcm
Natriumsulfit . . .	300 g
Krist. Soda	40 „
Pottasche	20 „
Hydrochinon . . .	10 „
Metol	5 „

*) Der Zusatz eines Alkalis bei vielen organischen Entwicklern, wie Pyrogallol, Metol etc., beruht nach Luther darauf, daß sich diese Entwicklersubstanzen unter Säurebildung oxydieren und dadurch reduzierend auf das Bromsilber wirken. Nach den Grundsätzen der physikalischen Chemie wird diese Säurebildung durch Säurezusatz gehindert und umgekehrt durch Alkalizusatz begünstigt.

Der Entwickler wird speziell für die Eastmanfilms und für die Hervorrufung von Momentaufnahmen empfohlen. Für die Entwicklung der Schleußnerschen sehr empfindlichen Planfilms empfiehlt die genannte Fabrik:

8. Metol-Sodaentwickler.

Lösung A:	Aqua dest.	1000,0 cbcm
	Schwefligsaures Na.	100,0 g
	Metol	10,0 „
Lösung B:	Aqua dest.	1000,0 cbcm
	Soda	100,0 g

Der aus gleichen Teilen von A und B gemischte Entwickler läßt das Bild in 4 bis 10″ erscheinen. Und in 4—5′ ist die Entwicklung beendet.

Standentwicklung.

Vielfach verwendet man auch zur Hervorrufung des Bildes sehr verdünnte Entwickler und läßt diese längere Zeit (1—12 Stunden) auf die Platten einwirken. Für Rodinal wird sogar empfohlen, eine Lösung von 0,5—2 cbcm in 1 l Wasser zu verwenden und in dieser mehrere Stunden zu entwickeln.

Diese Methode der Entwicklung, gewöhnlich als Standentwicklung bezeichnet, empfiehlt sich namentlich für Plattenserien, über deren richtige Exposition man nicht im klaren ist, da man bei dem langsamen Erscheinen des Bildes Expositionsfehler leichter durch Anwendung von Bromkalium bzw. eines konzentrierteren Rapidentwicklers korrigieren kann. Besonders wird der Standentwicklung nachgerühmt, daß durch sie Feinheiten in den hellsten Teilen „Spitzlichter“ besser zu erhalten sind, als bei der gewöhnlichen Entwicklungsmethode. Dagegen dürfte wohl die Annahme nicht zu recht bestehen, daß man bei unterexponierten Platten durch das genannte Verfahren wirklich dichtere Negative erhält als bei der Entwicklung durch einen guten Rapidentwickler.

Fixierbad.

Ein Teil unterschwefligsaures Natron wird in 3—4 Teilen Wasser gelöst und auf 1 Liter der Lösung 50 cbcm Sulfitlauge oder etwas Natriumbisulfit in Substanz zugesetzt. Durch diese Ansäuerung des Fixierbades wird die Färbung der Gelatineschichten, wie sie in organischen Entwicklern leicht auftritt, beseitigt. Es gilt als Regel, namentlich bei Fixierung von leicht aneinander hängenbleibenden Films, reichliche Mengen der Lösung zu verwenden und eine häufige Erneuerung des Bades vorzunehmen. Auch ist es dringend zu empfehlen, vor Einlegen der Platten in das Fixierbad, dieselben gründlich abzuspülen. Nach dem Fixieren empfiehlt es sich, Films und Platten mindestens 1/2 Stunde in fließendem Wasser zu waschen. Hierbei kann es bisweilen vorkommen, daß die Films auf der empfindlichen Schicht Kratzlinien oder Risse bekommen, ja eventuell solche bei gleichzeitiger Entwicklung und Fixierung mehrerer Films schon in diesen Bädern erhalten. Diese sind nach einer privaten Mitteilung von Herrn Dr. v. Brücke häufig dadurch bedingt, daß die Ecken der Films beispielsweise zur Befestigung auf Holztrommeln mit Reißzwecken durchbohrt werden. Bei dieser Perforierung entstehen aber an dem Lochrand spitzige Zacken des Celluloids, die jene Wirkung herbeiführen. Abschneiden der Ecken, an denen gewöhnlich die Löcher sich befinden, beseitigt die genannte Fehlerquelle.

Verstärker.

Sublimat 2 g, Bromkalium 2 g, Wasser 100 cbcm. In dieser Lösung bleiben die Negative, wenn eine sehr weitgehende Verstärkung gewünscht wird, bis das Bild durch und durch weiß geworden ist. Hierbei tritt eine Reduktion des Quecksilbers zu Kalomel und eine Bildung von Chlorsilber ein, bzw. soll Silbermerkurochlorid entstehen:

$$Ag + HgCl_2 = HgAgCl_2 .$$

Man bringt nun nach dem Auswaschen die Platte in eine Lösung von Natriumsulfit 1:8. In dieser erfolgt in der Hauptsache eine Reduktion des Chlorsilbers zu Silber, des

Kalomels zu Quecksilber. An Stelle der Reduktion durch Natriumsulfit kann man auch nach gründlichem Wässern der in einer Sublimatlösung verstärkten Platte durch eine verdünnte Ammoniaklösung eine Schwärzung erzielen. Hierbei sollen sich mehrere komplizierte Verbindungen bilden, wie $NH_2AgHgCl$ und $NHAgHg_2Cl$. Da hierbei sehr leicht nach ungenügendem Waschen und Fixieren etc. Flecken entstehen, ist die erstere Methode mit Sulfit empfehlenswerter.

Abschwächer.

Man setzt einer neutralen Lösung von unterschwefligsaurem Natrium auf 100 cbcm 5—10 cbcm einer 5—10%-igen Lösung von rotem Blutlaugensalz zu. Die Abschwächung beruht nach Eder[1]) darauf, daß sich Ferrocyansilber bildet, welches sich im Fixiernatron löst.

Behandlung von Films und Bromsilberpapieren.

Es empfiehlt sich, vor der Entwicklung, namentlich bei etwas längeren Streifen, die Films und Papierbänder zunächst durch ein größeres Gefäß mit Wasser zu ziehen, und sie dann erst in den Entwickler zu bringen. Hier kann man die gleichmäßige Benetzung bei längeren Streifen durch ein periodisches Durchziehen durch das Bad begünstigen, oder bei sehr langen Streifen kann man auch, wie bei den Kinematographenfilms, einen besonderen Entwicklungsapparat benutzen, bei dem der Streifen spiralig aufgewunden auf der Schichtseite überall der Entwicklungslösung zugänglich bleibt. Noch einfacher ist die Benutzung leichter viereckiger Holzrahmen, die an 2 gegenüberliegenden Längsseiten eine Reihe Stifte aus Celluloid tragen, deren Entfernung etwas größer ist, als die Breite des Films. Die Stifte stehen senkrecht zur Rahmenebene und ragen beiderseits etwa 1 cm hervor. Ihre Befestigung geschieht durch oberflächliche Auflösung des Celluloids mit Aceton. Derartige Rahmen finden z. B. auch im Institut Marey Verwendung. Abbildungen derartiger Rahmen siehe bei Liesegang[5]) S. 278/79.

Die Streifen werden am besten nach Vollendung der verschiedenen Prozeduren an kleinen federnden Klammern angehangen und unten beschwert, oder auch mit der Rückseite auf ein mit Filtrierpapier überzogenes Brett aufgezweckt. Sollten sich die Films, wie es namentlich bei älteren Fabrikaten der Fall war, stark einrollen, so verwendet man vor dem Trocknen ein Glyzerinbad von Glyzerin 30 cbcm, Alkohol 300 cbcm, Aqua dest. 500 cbcm.

2. Der Positivprozeß.

Die gebräuchlisten, für direktes Auskopieren mit Silbersalzen imprägnierten Papiere lassen sich einteilen in: Albuminpapiere, Chlorsilbergelatineemulsionspapiere (Aristopapiere), Chlorsilberkollodiumpapiere (Celloidinpapier). Für die Reproduktion von Kurven und dergl. ist es wichtig zu wissen, daß gewisse Zusätze die Kopien kontrastreicher machen, d. h. die dunklen Teile des Bildes unverhältnismäßig schwarz wiedergeben, während die helleren Teile des Bildes nahezu rein weiß bleiben. Hierhin sind zu rechnen: Zitronensäure, Weinsäure, Chromsäure und die Chromate*). Es soll die Wirkung darauf beruhen, daß der Zerfall des Silbersubchlorids in Ag, nicht aber der Zerfall des AgCl in Silbersubchlorid beschleunigt wird. Es wird hierdurch gewissermaßen die Schwelle für die Lichtwirkung erhöht.

Sollen Kurven nach Silberkopien vervielfältigt werden, so ist es nicht gleichgültig, ob man die Kopien auf Mattpapier oder auf glänzenden Papieren herstellt. Da Mattpapier relativ viel Licht diffus von der Oberfläche reflektiert, muß, um eine gleiche Schwärzung wie bei einem glänzenden Papier zu erhalten, viel mehr Silber in den dunklen Teilen reduziert werden, als bei den Papieren mit glatter Oberfläche.

Das Tonen der Kopien.

Um den Farbenton der Silberbilder zu verbessern, bringt man die Kopien in eine Goldlösung. Hierbei werden die Silberteilchen durch Goldteilchen ersetzt. Während

---

*) Vergl. z. B. die käuflichen „Rembrandtpapiere".

man früher diesen Tonungsprozeß vor der Fixierung vornahm, werden jetzt meist beide Vorgänge in einem einzigen Bad (Tonfixierbad) bewirkt, doch hat, wie auch Eder betont, die Verwendung eines kombinierten Tonfixierbades meist eine geringere Haltbarkeit der Bilder zur Folge. Es sei deswegen zunächst auch ein von Eder angegebenes Rezept für getrennte Tonung und Fixierung angeführt.

Man stellt sich 3 Stammlösungen her:

Lösung A: Geschmolzenes Natriumazetat 1:50,
Lösung B: Rodanammonium 1:50,
Lösung C: Chlorgold 1:100.

Für Aristopapier nimmt man 100 cbcm Lösung A, 100 cbcm Wasser, 20 cbcm Lösung C und nach längerem Stehen der Mischung 200 cbcm Lösung B.

Für Celloidinpapier verwendet man 100 cbcm von Lösung A, 6 cbcm von Lösung B und ebenfalls nach längerem Stehen setzt man 25 cbcm der Lösung B zu.

Wenn in diesem Bade die Kopien den gewünschten Farbenton erreicht haben, so werden sie in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron 1:10 fixiert. Man soll mindestens, damit die Fixierung vollständig ist, auf einen Bogen Papier 50 g Fixiernatron oder $1/2$ Liter Fixierbad 1:10 rechnen. Nach dem Fixieren werden die Bilder etwa 2 Stunden in fließendem Wasser gewaschen. Will man auf Kosten der Haltbarkeit rasch arbeiten, so sei von den zahllosen Tonfixierbadrezepten folgendes empfohlen.

In 500 cbcm heißem Wasser werden 200 g Fixiernatron, 25 g Rodanammonium, 30 g Alaun gelöst und 40 cbcm einer 10%-igen Lösung von Bleiazetat zugesetzt. Nach Absetzen und Filtrieren mischt man 100 cbcm Lösung mit 100 cbcm Wasser und 7 cbcm Chlorgoldlösung 1:100.

Für Darstellung von Kurven*) empfiehlt es sich, zur besseren Wiedergabe der feinen Einzelheiten, das Papier nicht frei hängend nach dem Wässern trocknen zu lassen, sondern naß auf glänzend lackierten Eisenplatten, Spiegelplatten oder Ebonitplatten aufzuquetschen, nachdem man die Platten vorher mit einer Auflösung von Wachs in Äther eingerieben hat. Insbesondere kommt das für das Aristopapier in Betracht.

Will man rasch größere Mengen von Kopien herstellen, so empfiehlt sich die Verwendung von reinem Bromsilberpapier mit Entwicklung, oder das Kopieren auf den weniger lichtempfindlichen Positivpapieren Lenta und Velox, welche ein Gemisch von Chlor- und Bromsilber in ihrer Schicht enthalten. Die Behandlung dieser Papiere entspricht ganz dem Negativprozeß, auch erhält ja der Käufer solcher Papiere die nötigen Gebrauchsanweisungen.

Sollen photographische Kurven zur Projektion Verwendung finden, so wird man, wenn die Originalkurven selbst nicht verwendet werden dürfen, diese am besten auf Chlorsilbergelatineplatten kopieren, welche sich wegen der Feinheit ihrer Zeichnung und ihrer Brillanz besonders als Diapositivplatten zur Projektion eignen. Die Belichtung der Chlorsilbergelatineemulsion muß mindestens 40-mal länger dauern, als bei Bromsilber. Im übrigen ist die Behandlung dieser Diapositivplatten der der Bromsilberplatten analog.

---

*) Anmerkung. Nach O. Frank (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1894) lassen sich auch die auf Ruß geschriebenen Kurven im Kopierrahmen sehr gut kopieren, sei es auf Auskopierpapier, sei es auf Bromsilberpapier oder -platten (mit Entwicklung). Besonders in letzterem Falle können bei zarter Berußung die erhaltenen Kurven das Original an Deutlichkeit übertreffen. Übrigens erwähnt Frank, daß auch bereits von Funke und Heidenhain 1860 für die auf Glas geschriebenen Myogramme ein analoges Druckverfahren Verwendung fand.

II. Photographie von Reihen einzelner Bewegungsphasen.*)

Wie Marey [6]) in seinem „Développement de la méthode graphique. Paris 1885" schildert, hat zuerst der Astronom Janssen [7]) 1876 mit seinem „Revolver astronomique" auf einer in Intervallen um einen bestimmten Winkel gedrehten Platte eine ganze Serie von Aufnahmen vorgenommen. Während es sich bei ihm um Aufnahmen in Zwischenzeiten von 70″ handelte, bei denen auch die Expositionszeit hinreichend lang genommen werden konnte, ist zur Registrierung einzelner Bewegungsphasen bei den lebenden Organismen meist eine viel kürzere Expositionszeit und ein viel kürzeres Intervall zwischen den einzelnen Aufnahmen erforderlich. Solche Aufnahmen waren bei der viel geringeren Empfindlichkeit der nassen Platte noch nicht durchführbar. Immerhin wies Janssen (l. c. S. 105) schon auf die Möglichkeit einer späteren weitgehenderen Verwendung hin, und betonte, daß seine Methode die Umkehrung des Phenakistoskopes darstellte.

Bereits vor Janssen gelang es, einzelne Bewegungsphasen, die sich in gleicher Weise immer wiederholten, im Bilde festzuhalten. So haben Onimus und Martin [8]) photographische Aufnahmen des schlagenden Kaninchen- und Schildkrötenherzens gemacht. Wird in einem solchen Falle länger exponiert, so werden, da die extremen Lagen bei der Systole und Diastole immer wieder nahezu dieselben sind, sich die betreffenden Grenzlinien des Herzens scharf markieren, während natürlich alle anderen Einzelheiten des Objektes verwaschen bleiben.

Erst mit der Einführung der hochempfindlichen Trockenplatten wurde es möglich, sich bewegende Menschen oder Tiere in kurzen Zeitintervallen einwandsfrei aufzunehmen. Schon 1882 wurden die von Muybridge [9]) auf Veranlassung von Stanford aufgenommenen Bilder vom Pferde im Gange mitgeteilt. Er umging die bis in die neueste Zeit bestehende Schwierigkeit der raschen und stoßweisen Plattenbewegung zwischen den einzelnen Aufnahmen dadurch, daß er eine ganze Batterie von photographischen Apparaten nebeneinander aufstellte, die auf elektrischem Wege zeitlich nacheinander in Tätigkeit gesetzt wurden. Das sich bewegende Individuum zerriß bei seinem Vorwärtsschreiten feine Drähte, die mit den Elektromagneten der Kontakte für die Momentverschlüsse der einzelnen Apparate in Verbindung standen. Die Expositionszeit soll bis $^{5}/_{1000}$″ betragen haben (vgl. Stillmann [9]), der die Versuche Muybridges schildert), doch werden entsprechend der ungleichmäßigen Fortbewegung die Drähte nach verschiedenen Zwischenzeiten zerrissen, und damit die einzelnen Aufnahmen nicht in gleichen Intervallen aufgenommen.

Im gleichen Jahre teilte auch Marey [10]) bereits seine ersten gelungenen Aufnahmen von einzelnen Bewegungsphasen der Pariser Akademie mit.

---

*) Bei der Bearbeitung des folgenden Abschnittes war es mir von großem Werte, daß ich durch das Entgegenkommen der Königlichen Sächsischen Staatsregierung für die Pfingstferien 1909 den sächsischen Arbeitsplatz im Institut Marey, Boulogne s. Seine erhielt und hier die grundlegenden Apparate Mareys und seiner Schüler sowie in der reichhaltigen Bibliothek die einschlägige Literatur kennen lernen konnte. Außer der Königl. Sächs. Staatsregierung sei insbesondere aber auch der Direktion des Instituts, Herrn Prof. Kronecker, Weiss, Dr. Bull und Noguès für die Bereitwilligkeit gedankt, mit der sie mir alle Mittel des Instituts zugänglich machten.

Bei diesen Versuchen befand sich die weißgekleidete Person vor schwarzem Grunde. Während sich dieselbe bewegte, wurden von ihr auf feststehender photographischer Platte eine Reihe von Aufnahmen dadurch gewonnen, daß durch die Ausschnitte einer rotierenden Scheibe nur in bestimmten Intervallen die Platte sehr kurz belichtet wurde. Auch deutet Marey [11]) bereits die Methode an, die Kurve, die z. B. beim Gang ein bestimmter Punkt des Körpers beschreibt, dadurch kenntlich zu machen, daß dieser Punkt durch weiße Farbe besonders hervorgehoben wird. Außerdem ist hier schon das unten näher zu besprechende Prinzip entwickelt, durch geeignete periodische Unterbrechungen eine solche Kurve in eine Punktreihe zu zerlegen, bei der die Abstände der Punkte zugleich als Maß für die Geschwindigkeit dienen könnten, bei bekannter Frequenz der Periode.

Ferner hat Marey [12]) 1882, ermutigt durch die 1881 auf seine Veranlassung von Muybridge vorgenommenen, wohlgelungenen Momentaufnahmen der Vögel im Flug, die sogenannte photographische Flinte konstruiert, mit der es ihm gelang, Vögel im Flug in einzelnen Bewegungsphasen zu erfassen. Der nach dem Janssenschen Prinzip gebaute Apparat enthielt eine polygonale oder runde Trockenplatte, die mit Hilfe eines durch Uhrwerk getriebenen Exzenters ruckweise einmal in der Sekunde eine ganze Umdrehung ausführte. Hierbei wurde sie 12 mal in der Sekunde arretiert, und in diesen Momenten passiert das Fenster einer zweiten Metallscheibe, die sich 12 mal in 1″ umdreht, die Objektivöffnung. Die Expositionszeit für jede Aufnahme betrug hierbei $^1/_{200}$″ (an anderen Stellen $^1/_{900}$″). Es stellte sich aber heraus, daß zur Fluganalyse die Zahl der Bilder in einer Sekunde zu gering war.

Eine gewisse Hilfe bot hier ein dem stroboskopischen Prinzip ähnliches Verfahren [13]), um die einander sehr rasch folgenden Phasen des schwingenden Flügels zu erhalten: Wurden beispielsweise vom Vogel 8 Flügelschläge in 1″ gemacht, und erfolgten die Aufnahmen in Zwischenzeiten von $^1/_8$″, so würde jedesmal der Flügel in der gleichen Phase wieder aufgenommen werden. Eine geringe Verlangsamung des Aufnahmeapparates gibt dann aber die einander rasch folgenden Bewegungsphasen wieder, vorausgesetzt, daß der Flugapparat zeitlich präzis genug arbeitet.

Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Apparate mit bewegter Platte wurde durch den Umstand vereitelt, daß sich rasche Vorwärtsbewegung der Platte und rasches Halten während der Aufnahmen selbst technisch schwer durchführen läßt. Erst in neuerer Zeit ist durch die Anwendung der leichten und widerstandsfähigen Films in dieser Richtung ein wesentlicher Fortschritt erzielt worden. Zunächst suchte man bei den sehr kurzen Expositionszeiten die Arretierung ganz wegzulassen, doch ergab sich, daß dann die Schärfe des Bildes durch die Bewegungen der Platte zu sehr beeinträchtigt wurde. Wäre es möglich, die Expositionszeit auf einen fast unendlich kleinen Bruchteil einer Sekunde herunterzudrücken, so wäre es natürlich gleichgültig, ob sich die lichtempfindliche Fläche während der Aufnahme in Ruhe oder Bewegung befindet.

Neuerdings hat nun Bull [14]) diese Aufgabe nahezu gelöst, indem er beim Photographieren des Insektenfluges die elektrischen Funken mit ihrer außerordentlich kurzen Dauer zur Beleuchtung verwendete. Ferner wurden von

Londe, Muybridge und Marey Versuche unternommen, mit einer Objektivreihe, also mit feststehenden Platten, eine Zahl von Bildern in kurzem Intervall aufzunehmen. So brachte Marey es beispielsweise dahin, sechs Bilder in $^1/_{10}''$ zu erhalten, so daß also zwischen jeder Aufnahme von $^1/_{1000}''$ noch nicht $^1/_{60}''$ dazwischen lag. Der Nachteil, abgesehen von der beschränkten Bilderzahl, liegt auch hier wie bei den älteren Aufnahmen von Muybridge in der Veränderung des Standpunktes, wie es die Verwendung verschiedener Objektive (Londe verwendete bis zu 16 Objektive) mit sich bringt.

Wesentlich bessere Resultate konnte Marey zunächst bei seiner schon oben kurz erwähnten Chronophotographie mit feststehender Platte erhalten. Eine deutliche mehrfache Abbildung desselben Objektes auf einer solchen ist nur dann möglich, wenn der ganze Hintergrund vollständig schwarz ist, und das Objekt leuchtend hell sich bei seiner Fortbewegung auf verschiedenen Teilen der Platten nacheinander abbildet, und die Expositionszeit jedesmal so kurz bemessen wird, daß eine wesentliche Verschiebung des Bildes auf der Platte während der Belichtung nicht eintritt. Man bezeichnet gewöhnlich ein Bild als unscharf, wenn die Verschiebung der Konturen mehr als 0,1 oder 0,2 mm beträgt (vgl. z. B. Hürthle[15]). Man kann, was hier nebenbei bemerkt sei, dann leicht, wenn die Brennweite des Objektives bekannt ist, aus der Bewegungsgeschwindigkeit des Objektes die eben noch zulässige Expositionszeit berechnen.

Die Anordnung für eine derartige Mehrfachaufnahme ist verhältnismäßig einfach. Zwischen Objektiv und Platte wird eine mit dem Schlitz versehene Scheibe angebracht, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit rotiert. Jedesmal wenn der Ausschnitt zwischen Objektiv und Platte vorbeigeht, wird die Platte für einen Augenblick belichtet. Wie insbesondere Weiss*)[16]) hervorgehoben hat, ist es durchaus nicht gleichgültig, ob die Scheibe direkt hinter dem Objektiv oder direkt vor der photographischen Platte angebracht ist. Die Anbringung hinter dem Objektiv hat den Nachteil, daß während der ganzen Zeit der Spaltpassage vor einem Objektivteil eine Belichtung der Platte erfolgt, dabei aber das Objektiv selbst, wenn der Spalt nicht sehr weit ist, nie vollständig ausgenutzt wird. Das durch die Randteile des Objektives gehende Licht trägt ebensoviel, wie das Licht, welches das Zentrum des Objektives passierte, zur Bilderzeugung bei, obgleich optisch der letztere Anteil viel höher zu bewerten ist. Liegt dagegen der Spalt direkt vor der Platte, so wird, solange der Spalt eine Plattenstelle freigibt, das Licht der vollen Objektivöffnung den Plattenteil treffen, also in der kurzen Zeit, in der sich der Spalt bei dieser Anordnung um seine eigne Breite verschiebt. In diesem letzteren Falle, der hinsichtlich der Belichtung und Schärfe der Bilder der günstigere ist, kommt andererseits der Fehler in Betracht, daß die verschiedenen Teile einer Aufnahme auf der Platte, entsprechend dem zeitlichen Wandern des Spaltes nie ganz gleichzeitig aufgenommen sind. Diese letztere Anordnung ist nach Weiss wegen der Bildschärfe oft vorzuziehen. Der Momentverschluß würde natürlich am richtigsten arbeiten, wenn

*) Die im folgenden noch mehrfach zitierte Abhandlung von Weiss ist mir für die Darstellung der Kinematographie oft von Nutzen gewesen. Manche Einzelheiten, die von Weiss behandelt wurden, konnten, da die Ergebnisse der Physiologie dem Leser ja meist zur Hand sind, hier übergangen werden.



er in einem praktisch unendlich kleinen Zeitteilchen den größten Teil der Objektivöffnung frei gäbe, für eine kurze Zeit beispielsweise $^1/_{1000}$″ offen bliebe und dann wieder in einem praktisch unendlich kleinen Zeitteilchen vollkommen abdeckte.

Neben dieser Anordnung des Apparates ist es ferner zur Aufnahme derartiger Photogramme nur erforderlich, durch Herstellung eines mit schwarzem Sammet ausgekleideten Hohlraumes, in den direktes Sonnenlicht nicht hineinfallen darf, einen möglichst rein schwarzen Hintergrund zu erzielen. Ferner muß das bewegte Objekt möglichst hell sein (Läufer in weißem Trikot). Um zuverlässig die Intervalle zwischen den einzelnen Expositionszeiten zu messen, verwendete Marey einen mit bestimmter Geschwindigkeit sich drehenden weißen Zeiger auf schwarzem Grunde (vergl. Fig. 1). Ferner wurde direkt vor der Bahn der Fortbewegung

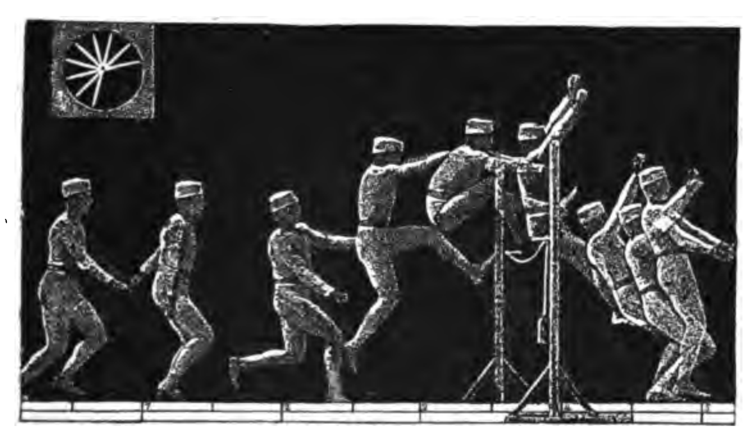


Fig. 1.
Aufnahme eines Springers auf feststehender Platte. (Aus Marey, Développement de la méthode graphique. Supplement 1885 Paris, Masson.)

ein schwarz und weißer Maßstab angebracht, so daß das Ausmaß der Bewegung sich ohne weiteres feststellen läßt. Voraussetzung für das ganze Verfahren ist, daß die Geschwindigkeit der Fortbewegung so groß ist, daß die zeitlich sich folgenden Bilder auf hinreichend verschiedene Plattenstellen fallen. So versagt z. B. die Methode bei dem bekannten beistehenden Bilde des Springers für den Zeitpunkt, wo das betreffende Individuum in den Ruhezustand übergeht.

Ein wesentlicher Fortschritt bei dieser Methode wurde von Marey dadurch erzielt, daß er auf die Wiedergabe des ganzen Individuums verzichtete und entweder nur die eine Hälfte, oder noch besser (Methode von Demeny) einzelne Punkte durch weiß markierte, die sich dann allein, auch bei relativ langsamer Fortbewegung, deutlich abhoben. Bei dieser Methode der partiellen Photographie (oder wenn sich die Aufnahmen auf einzelne Punkte und Linien beschränken „Chronophotographie géometrique“, wie sie Marey nannte, ist es erforderlich, alle übrigen Teile vollständig zu schwärzen (schwarzer Trikot), so daß von dem Objekt nur charakteristische weiße Punkte

und Linien auf dem Bilde sichtbar bleiben. Nach diesem Prinzip sind später auch die für die Ermittelung des Ganges vom Menschen wohl vollkommensten Versuche von Braune und Fischer[17]) ausgeführt worden.

Wie bei jeder Untersuchung von Naturerscheinungen ist auch hier die ein weiteres Verständnis anbahnende Verzeichnung des menschlichen Ganges erst dadurch gewinnbringend geworden, daß man zunächst von dem Nebensächlichen abstrahierte und gewissermaßen „schematisch“ den Vorgang aufzeichnete. Da die Methode von berufenerer Feder schon in einem anderen Kapitel dieses Werkes geschildert wurde, sei hier nur auf den methodischen Fortschritt hingewiesen, den jene Untersuchung geliefert hat. Statt der zahlreichen weißen Streifen etc. trug die Versuchsperson eine große Zahl Geisslerscher Röhren, die charakteristischen Punkten der Extremitäten, des Rumpfes und des Kopfes entsprachen. Mittels eines Induktors konnten sämtliche Röhren zum gleichzeitigen Aufleuchten gebracht werden und zwar bei dem benutzten Stimmgabelunterbrecher 26,09 mal in 1″. Infolge des chemisch sehr wirksamen Lichtes der mit Stickstoff gefüllten Geisslerröhren hoben sich die einzelnen Aufnahmen der charakteristischen Punkte außerordentlich scharf von dem dunklen Grunde — die Aufnahmen wurden in einem vollständig verfinsterten Raume vorgenommen, — ab. Da das Intervall der Funkenunterbrechungen bekannt war, ließen die Aufnahmen auch eine genaue zeitliche Auswertung zu. Für die räumliche Ausmessung diente ein aus weißen Fäden gebildetes Koordinatensystem, das am Schluß der Versuche an Stelle der Versuchsperson auf derselben Platte photographiert wurde. Da ferner durch eine einzige Aufnahme aus einer Richtung die räumliche Verlagerung noch nicht zu ermitteln ist, wurde die Versuchsperson, was bei Benutzung der nach verschiedenen Richtungen gleichmäßig strahlenden Geisslerschen Röhren keine Schwierigkeiten bot, gleichzeitig in vier verschiedenen Richtungen, also gleichzeitig mit vier verschiedenen Apparaten aufgenommen.

In gewisser Hinsicht ähnlich, wenn auch viel weniger vollkommen, hatten schon früher Quénu und Démeny den Gang des Hinkenden untersucht. Der im dunkeln Raum Gehende trug eine Reihe Glühlampen, die sich auf der feststehenden Platte als Linien verzeichnen würden. Um aber die einzelnen Phasen der Bewegung voneinander zu trennen, ließen die genannten Forscher eine mit 5 Ausschnitten versehene Scheibe hinter dem Objektiv rotieren, so daß die von jeder Glühlampe gezogenen Lichtlinien auf dem Bilde in einzelne Punkte zerlegt wurden. Da außerdem jeder fünfte Ausschnitt die doppelte Breite besaß, hob sich durch die stärkere Belichtung jede 5. Phase deutlich von den übrigen ab, was die Analyse der Kurven noch erleichterte (vergl. z. B. auch Marey[12])). Das gleiche Prinzip wurde auch von Marey selbst 1885 angewandt. So zeigt Fig. 2 den Fall einer leuchtenden Kugel vor schwarzem Grund. Die sonst sich nur als Kurve aufzeichnende fallende Kugel ist durch eine rotierende Scheibe mit 10 Ausschnitten in Teilbilder zerlegt. Da jeder 10. Ausschnitt doppelt so weit ist, als die übrigen, lassen sich die zeitlichen Verhältnisse leichter auswerten. Zur Kontrolle der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe kommt entweder der sich mit bekannter Geschwindigkeit drehende weiße Zeiger auf dunkelm Grund in Betracht, oder die Verzeichnung der Umdrehungszahl der Scheibe erfolgt mittels Luftübertragung in bekannter Weise auf ein Kymographion. Zur weiteren Messung

dient hier auch schon ein zunächst flächenhaft ausgedehntes Koordinatensystem, dadurch erhalten, daß ein rechteckiger Rahmen mit weißen, in bestimmten Abständen gespannten Fäden dicht vor der Bahn des fallenden Körpers mitphotographiert wird. Braune und Fischer haben auch diese Methode, wie an anderem Ort dieses Werkes beschrieben wurde (S. 288 u. 291) für ihre Aufnahmen angewendet, und zwar wurde von ihnen eine mit Asphaltlack überzogene Glastafel mit eingeritztem Koordinatennetz genau an die

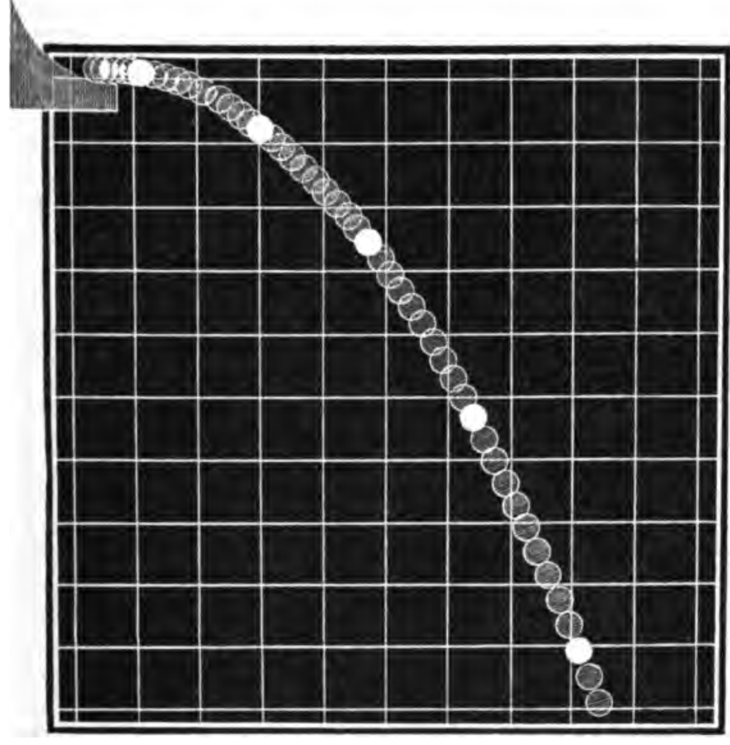


Fig. 2.

Chronographische Kurve eines fallenden Körpers, der vor dem Fall eine Beschleunignng in horizontaler Richtung erhalten hat. (Aus Marey, Développement de la méthode graphique. Supplement. Masson. Paris 1885.)

Stelle der Versuchsperson gebracht und das mit durchfallendem Licht beleuchtete Koordinatennetz aufgenommen.

Marey konnte die anfangs von ihm selbst durchgeführte Methode der Photographie auf bewegter Platte, die er wegen technischer Unvollkommenheiten aufgegeben hatte, neuerdings, seit dem Auf kommen der Celluloidfilms mit großem Erfolg durchführen, und er betont noch 1901 [18]), daß die Photographie auf bewegter Platte eine viel allgemeinere Anwendung finden könnte, da man ja nicht mehr auf den schwarzen Hintergrund angewiesen sei. Der Nachteil, der darin bestünde, daß man die einzelnen Aufnahmen nicht direkt miteinander vergleichen könnte, ließe sich dadurch umgehen, daß man bei

genau gleicher Orientierung der Aufnahmen die Bilder projizierte und die Konturen aufzeichnete. Schon 1901 waren die zur Aufnahme konstruierten Apparate so weit fortgeschritten, daß man bis 110 Aufnahmen pro Sekunde auf das Film machen konnte. Das Verfahren, auf beweglichem Filmstreifen, der periodisch während jeder Aufnahme angehalten wurde, Reihen von Momentaufnahmen vorzunehmen, wurde von ihm bereits 1894 beschrieben.*) Die größte Bilderzahl in 1 Minute (140) erreichte Athanasiu[19]) mit seiner Anordnung. Dieser Forscher ließ das Film durch zwei gegeneinander rotierende Walzen verschieben. Da auf einer der Walzen in gleichen Abständen Kreissegmente abgefeilt sind, diese Walze also Vorsprünge und Vertiefungen besitzt, erfolgt das Vorschieben des Films stoßweise. Da das Film oberhalb der Walzen unter mäßiger Pressung in einem Rahmen vor dem der Exposition dienenden Fenster vorbeigeführt wird, so tritt auch jedesmal, wenn eine Vertiefung der einen Walze der glatten Walze gegenübersteht, sofort Stillstand der Filmbewegung ein. Jeder derartige Moment dient der Exposition. Ein Nachteil der Methode liegt nur darin, daß die Bilder zu Projektionszwecken nicht genügend äquidistant sind. Die gerade für die Projektion erforderliche genaue Bewegung der Filmbänder in den neueren Aufnahmeapparaten ist an die Idee Edisons und Lumières geknüpft, die Streifen am Rande oder in der Mitte in regelmäßigen Abständen zu perforieren. Durch die in die Perforationsöffnungen eingreifenden Zähne eines hin- und herschwingenden Rahmens, oder dergl. ist ein gleichmäßiger Transport der Filmstreifen gesichert, und

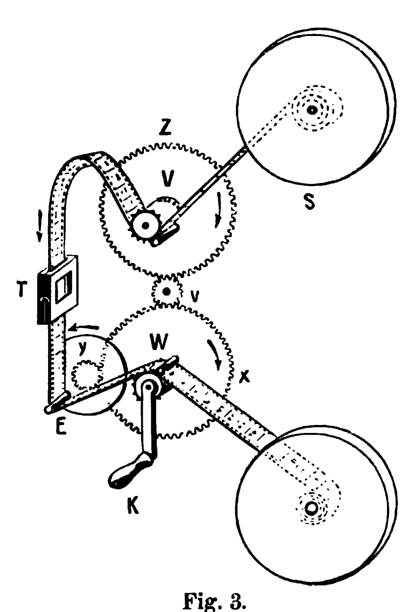


Fig. 3.
Aus Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie. Verlag Ed. Liesegang, Leipzig 1908.

wenn umgekehrt, nach der Herstellung eines entsprechenden Diapositivstreifens dieser projiziert wird, werden die auf dem Bilde fixen Gegenstände keine Ortsveränderung zeigen. Die Mechanik der einzelnen kinematographischen Aufnahmeapparate hier zu beschreiben, würde zu weit führen, da sie alle, abgesehen von kleineren Verschiedenheiten nach dem gleichen Prinzip gebaut sind: Vorwärtsbewegung des Filmstreifens mittels eines durch Exzenter bewegten Transporteurs oder dergl., periodisches Festhalten des Streifens in bestimmter Lage während der meist sehr kurzen Exposition, die auch hier durch eine rotierende Scheibe mit entsprechendem Ausschnitt besorgt wird. Liesegang[5]) charakterisiert die 3 Haupttypen der Verschiebungsmethoden in folgender Weise. „Bei der ersten erfolgt die

*) Die bei den Tageslichtfilms jetzt allgemein verbreitete Methode, die Enden der Films durch Ankleben von schwarzen Papierstreifen noch zu verlängern, und damit in zusammengerolltem Zustand vor Licht zu schützen, ist bereits von Marey 1894 angegeben.

Weiterbewegung des Filmbandes durch eine ruckweise bewegte Walze, bei der zweiten wird der Film mit Hilfe eines Exzenters vorwärts geschlagen oder gestoßen und bei der dritten wird der Film durch Greifer weitergezogen." In dem zitierten Buch sind die verschiedenen Anordnungen durch gute schematische Abbildungen veranschaulicht.*)

Weniger zu Studien, als zu Lehrzwecken und zu anschaulichen Vorführungen finden die Kinematographen mit Projektion, bezw. subjektiver Beobachtung der Diapositivserien Verwendung. Um die Helligkeit der Projektionsbilder zu erhöhen, nimmt man hier als Momentverschluß meist eine rotierende Scheibe mit wesentlich größerem Ausschnitt, als bei der Aufnahme. Natürlich darf der Ausschnitt nur eine derartige Größe haben, daß das Film während der ganzen Expositionszeit in Ruhestellung verharrt. In gewissen Fällen kann eine derartige kinematographische Darstellung einen, wegen zu großer Geschwindigkeit oder Langsamkeit für uns schwer übersehbaren Bewegungsvorgang besser veranschaulichen. So wird z. B. mit Hilfe

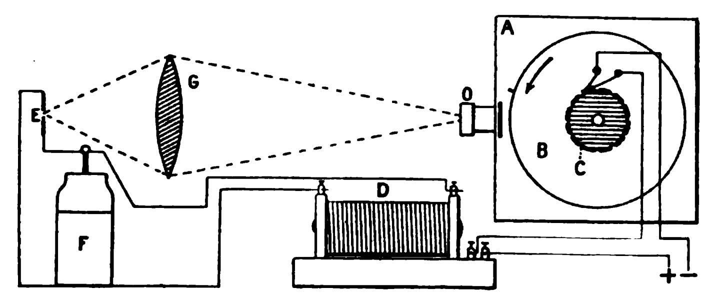


Fig. 4.

Schematische Seitenansicht der Anordnung von Bull für die photographische Registrierung des Insektenfluges. (Aus: Travaux de l'Association de l'Institut Marey. Paris 1905, Masson.)

einer von Athanasiu[19]) beschriebenen Einrichtung die Eröffnung einer Blume in 16 Photographien, die innerhalb einer Stunde aufgenommen waren, veranschaulicht, die man sich kinematographisch in etwa 1" vor Augen führen könnte. In ähnlicher Weise würden die langsamen Formenänderungen eines Leukozyten durch entsprechende Verkürzung der Zwischenzeiten bei der Projektion ohne weiteres als Bewegungen wahrgenommen werden.

Eine besonders schwierige Aufgabe für die photographische Registrierung ist der Flug der Insekten. Bei ihren 3—400 Bewegungen der Flügel in 1" sind weit über 1000 Aufnahmen pro Sekunde notwendig, um die einzelnen Phasen festzuhalten. Wie schon oben erwähnt, hat Bull diese Aufgabe recht

*) Auf Marey und Demeny geht beispielsweise eine zum Typus II gehörige Konstruktion zurück, die aus folgenden Hauptteilen besteht. Das perforierte Filmband (Fig. 3) läuft von der Rolle S über die beiden Zahnräder V und W, die miteinander verkoppelt sind, und sich mit gleicher Geschwindigkeit drehen. Zwischen ihnen passiert es eine Führung T, in deren Mitte sich das Fenster befindet. Der Exzenter E, der sich beispielsweise 8 mal so rasch umdreht, als die Zahnräder, zieht jedesmal eine Schleife Film nach abwärts, was ohne Zerrung möglich ist, da sich bei V immer etwas Film in Vorrat abwickelt. Dementsprechend wird das Film bei P eine kurze Zeit von W nicht vorwärts gezogen werden, da durch E ein Stück Film abgewickelt war. In diesem Moment erfolgt die Belichtung. Der Apparat wird jetzt von Gaument hergestellt.

befriedigend gelöst. Er benutzt den zwischen 2 Magnesiumelektroden überspringenden Induktionsfunken als Lichtquelle, dessen Licht durch 2 Kondensorlinsen G (vergl. Fig. 4) auf das Objektiv O geworfen wird. Das Insekt wird hinter der zweiten Kondensorlinse G fliegen gelassen und die Entfernungen sind so eingestellt, daß ein scharfes Bild des Objektes auf der bei A sichtbaren Holztrommel entsteht. Die Holztrommel ist auf ihrer äußeren Zylinderfläche mit einem Film bespannt, und es bekommt die Trommel durch den Motor M eine konstante Umdrehungsgeschwindigkeit. Es findet also kein Anhalten während jeder Exposition statt, weil die zur Belichtung dienenden Induktionsfunken so rasch ablaufen*), daß eine wesentliche Filmverschiebung nicht eintritt. An der Trommel ist eine Einrichtung angebracht, die automatisch nach einmaligem Umgang bei geöffnetem Objektiv einen Schluß desselben herbeiführt (vergl. Bull[14]) 1904 S. 5). Ferner werden die einzelnen Aufnahmen dadurch immer an den gleichen Stellen der Trommel und in den gleichen Abständen vorgenommen, daß sich auf der gleichen Achse mit der Filmscheibe eine Kontaktscheibe dreht, welche die Unterbrechung des Ruhmkorffschen Induktors bewirkt. Ferner kann zur Zeitmessung die Spitze einer elektromagnetisch angetriebenen Stimmgabel mit verzeichnet werden. Der Apparat ist dann von Bull durch Verdopplung der Objektive, Magnesiumspitzen etc. für stereoskopische Aufnahmen hergerichtet worden, und so gelingt es in der Tat, sich von den Flugbewegungen der Insekten ein richtiges Bild zu verschaffen**).

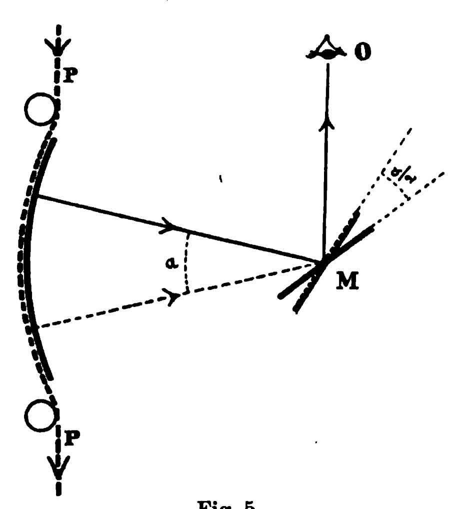


Fig. 5.
Aus: Bull, La Synthèse en Chronophotographie, Bulletin de la Soc. philomatique 1904.

Zur Registrierung ganz besonders langsam ablaufender Vorgänge haben sich ebenfalls Veränderungen in der Methodik notwendig gemacht. So hat

*) Voraussetzung ist also eine sehr hohe Oszillationsfrequenz der Funkenentladungen, wie man sie bei Benutzung eines Induktionsapparates von kleiner Selbstinduktion mit einer Leidener Flasche von geringer Kapazität erhält.

**) Besonders originell ist die von Bull benutzte Anordnung, um die rasche Flugbewegung der Insekten mit relativ wenigen Bildern in 1″ ohne störendes Flimmern zu veranschaulichen. Das auf einer Zylinderfläche bewegte Film P wird in einem Spiegel betrachtet, der sich mit der halben Winkelgeschwindigkeit um denselben Mittelpunkt dreht, wie das Film. Es ist dann das virtuelle Bild des Objektes, wie aus beistehender Skizze ohne weiteres hervorgeht, stets am gleichen Ort sichtbar. Hat sich Objekt und Spiegel um einen bestimmten Winkel gedreht, so wird durch sehr rasches ruckweises Zurückfedern des leichten Spiegels jedesmal für das nächste Bild die gleiche Ausgangslage hergestellt. Ich hatte selbst Gelegenheit, im Institut Marey die ausgezeichneten Aufnahmen Bulls von dem Flug der Libellen an einem solchen Apparat entsprechend verlangsamt betrachten zu können.

Meirowsky[21]) folgendes von Hermann angegebene Verfahren benutzt, um den Ablauf der Totenstarre zu verfolgen. Dasselbe gründet sich darauf, daß der Minutenzeiger eines Uhrwerkes in Intervallen von z. B. $^1/_4$ Stunde einen Kontakt schließt, durch den der elektrische Verschluß des Objektives (Fig. 6) vorübergehend geöffnet wird. In der Zwischenzeit zwischen je zwei Expositionen berührt der Minutenzeiger noch einige andere, weiter peripher angeordnete Kontaktstücke, durch die eine elektromagnetische Vorwärtsbewegung der Schreibfläche (leichte Holztrommel) herbeigeführt wird.

Nebenbei sei bemerkt, daß der von Hermann verwendete elektromagnetische Verschlußapparat des Objektives, der, wie er angibt, nach dem Prinzip der Signalapparate für Feuermelder gebaut ist, auch für zahlreiche andere Zwecke sich wohl eignen dürfte. Bei den meisten einfachen Elektromagneten mit Anker ist es schwer, eine so große Exkursion des Ankers zu erzielen, um das Objektiv frei zu geben, bzw. zu verdecken. Bringt man aber, wie es Hermann angibt, einen Zylinderausschnitt von weichem Eisen zwischen die Pole eines Elektromagneten, so ist es leicht, eine ausreichende Drehung zu erzielen.

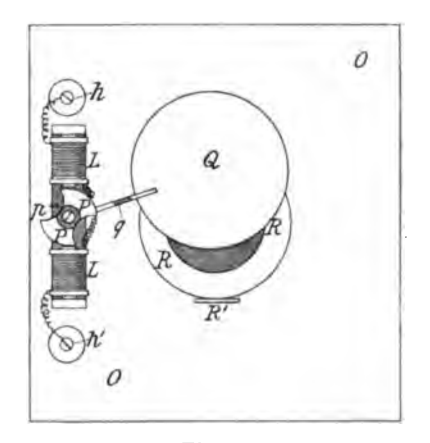


Fig. 6.
Aus: Meirowsky, Pflügers Arch. Bd. 78. 1899, Hager, Bonn.

Die Aufgabe, mikroskopische Objekte in ihren einzelnen Bewegungsphasen festzuhalten, begegnet jetzt ebenfalls keinen größeren Schwierigkeiten mehr. Obgleich die meisten Bewegungen mikroskopischer Objekte sich mit einer außerordentlich geringen absoluten Geschwindigkeit vollziehen, ist doch die scheinbare Geschwindigkeit, die durch eine 500 oder 1000 fache Vergrößerung erzielt wird, so gewaltig, daß wir, wie jüngst Hürthle[22]) hervorhob, Einzelheiten der Struktur mit bloßem Auge nicht mehr festzustellen vermögen. Schon Noguès[23]) hat gezeigt, daß sich im Mikroskop rasch erscheinende Bewegungen, wie das Schwingen der Flimmerzilien mit einem mikrophotographischen Apparat in Verbindung mit einem Kinematographen sehr wohl aufnehmen lassen. Ein wesentlicher Vorzug der von Noguès getroffenen Anordnung liegt darin, daß die Expositionsscheibe mit ihren Ausschnitten vor dem Mikroskop zu stehen kommt, d. h. zwischen Lichtquelle und Mikroskop, an der Stelle, wo der Lichtkegel den kleinsten Querschnitt besitzt, und es empfängt das Präparat von der Bogenlampe nur dasjenige Licht, welches zu den einzelnen Aufnahmen erforderlich ist.

Technisch außerordentlich vollkommene Mikrophotogramme der sich kontrahierenden Insektenmuskeln hat jüngst Hürthle geliefert. Sowohl in gewöhnlichem, wie in polarisiertem Lichte, was ja zunächst besondere Schwierigkeiten bot, konnte er Reihen von Momentbildern von ruhenden und sich kontrahierenden Fasern erzielen. Sein Kinematograph, der sich auch für andere physiologische Zwecke wohl eignen dürfte, stammt von Albrecht, Tübingen, und gibt 6 Expositionen in 1″ bei der verhältnismäßig großen Bildfläche von 8×8 cm. Die Expositionszeit konnte dabei bis auf

5 σ herabgesetzt werden. Allerdings brauchte er die günstigsten Beleuchtungsverhältnisse: Sonnenlicht, das zur Absorption der Wärmestrahlen eine ammoniakalische Kupferlösung, bzw. auch noch eine 1/2 % ige Eskulinlösung passieren mußte. Endlich sei als besondere Form der Kinematographie die von Carvallo[24]) beschriebene Radio-Chronophotographie genannt. Der Apparat soll weitgehende Variationen gestatten: Eine Röntgenaufnahme nach je 1 Stunde oder 10 Aufnahmen in 1″. Schon früher sind von Eykmann[15]) 1903 die Röntgenstrahlen für Stellungsveränderungen der tiefergelegenen Teile (Pharynxwand und Epiglottis) beim Schluckakt verwendet worden. Da eine einmalige kurze Belichtung nicht ausreichte, eine bestimmte Stellung des Kehlkopfes photographisch auf der Platte zu fixieren, wendete Eykmann gewissermaßen das Rheotomverfahren an. Bei der Hebung des Schildknorpels wurde beim jedesmaligen Schluckakt ein Kontakt durch den Schildknorpel geschlossen, der seinerseits die Entladung des Induktoriums auslöste. Es handelt sich also bei Eykmann um ein ganz anderes Problem, als bei der Radio-Chronophotographie Carvallos.

Zwischen den beiden genannten Verfahren der Photographie auf stehender und sprungweise bewegter Platte gibt es eine Reihe von Übergängen, durch die sich Fehler der einen oder der anderen Methode vermeiden lassen. Bei feststehender Platte zeigt sich der Fehler, daß, auch wenn die wesentlichsten Punkte des Objektes markiert wurden, sich ein Teil desselben überdeckte, sobald die Fortbewegung des betreffenden Körpers eine zu langsame wurde. Bei der kinematographischen Verzeichnung liegt eine Hauptschwierigkeit in dem stoßweisen raschen Vorwärtstransport und dem plötzlichen Festhalten der Schreibfläche. Der Übelstand tritt sofort deutlich hervor, wenn man versuchen wird, größere Bildflächen, wie sie für wissenschaftliche Untersuchungen sich vielfach nötig machen würden, so rasch stoßweise vorwärts zu bewegen. Vielleicht gibt das schon oben für subjektive Beobachtung empfohlene Verfahren Bulls mit dem drehenden Spiegel die Grundlage zu einer wesentlichen Verbesserung.

Der Mißstand, daß bei stehender Platte die entsprechend hellen Linien zweier aufeinander folgender Aufnahmen sich überdecken, läßt sich auf zwei Weisen vermeiden. Entweder dreht man, wie Weiß angibt, den chronophotographischen Apparat ganz langsam um seine vertikale Achse, oder man schiebt das betreffende, nur durch einzelne leuchtende Punkte markierte Objekt samt seiner Unterlage langsam in der Bewegungsrichtung vorwärts.

Neuerdings hat François-Frank für Atmung[27]), Herztätigkeit[26]) usf. die Kinematographie viel und zum Teil mit der methodisch wichtigen Kombination verwendet, neben dem tätigen Objekt auf der gleichen Aufnahme die zugleich mit verzeichnete Rußkurve während ihrer Entstehung zu registrieren.

François-Frank[28]) hat übrigens auch, was gleich hier erwähnt sei, für die kinematographischen Aufnahmen von kürzerer Dauer, wie sie bei den meisten physiologischen Versuchen in Betracht kommen, eine vielleicht recht praktische Beleuchtungsmethode empfohlen. Es werden Magnesiumpulvergemische von langsamem Brand, von denen 35—50 gr. für eine Exposition von 15—20″ genügen, in einer Rinne aus Eisenblech 15 mm breit, 10—12 mm tief und 40 cm lang an einem Ende entzündet. Man erhält dann nach Zwischenschaltung eines Pausleinewandschirmes zwischen Lichtquelle und Objekt während des mittleren Teiles der Verbrennung eine sehr gute Beleuchtung.

Außer den Ortsveränderungen von Körpern gelingt es, durch die bisher angeführten Methoden auch in analoger Weise Veränderungen in den optischen Eigenschaften des Körpers zu registrieren. Ehe durch die Lumière-sche Methode der Photographie in natürlichen Farben*) die Möglichkeit gegeben war, wenigstens bei Farbenänderungen, die eine lange Expositionszeit vertragen, die beobachteten Farben wenigstens annähernd, getreu zu registrieren, konnte man indirekt, sogar schärfer auf Grund der photographischen Spektralaufnahmen solche Vorgänge festhalten. Derartige Versuche wurden mit Hilfe der panchromatischen Platten, bspw. vom Verfasser [29]) über die Farbenänderungen des Sehpurpurs in der Netzhaut und in Lösungen angestellt und dabei durch Mehrfachaufnahmen des Spektrums auf verschobener Platte festgestellt, daß während der sogenannten Ausbleichung des Sehpurpurs im Grün die Absorption abnahm, dagegen im Violett gesteigert wurde, was nur durch Bildung eines neuen Farbstoffes, des Sehgelbes, zu erklären ist. Ferner verspricht eine derartige spektrophotographische Registrierung bei den Veränderungen des Blutfarbstoffes nach den Versuchen von Lewin, Miethe und Stenger [30]) und neuerdings Rost [31]) wichtige Aufschlüsse zu liefern. Gerade bei spektroskopischen Untersuchungen leistet, was keineswegs für alle Anwendungen der Photographie zutrifft, diese mehr als das Auge, da sie es uns ermöglicht, Veränderungen der Absorption bis ins äußerste Violett und sogar Ultraviolett bequem zu verfolgen. Für die praktische Ausführung der Spektrophotographie sei darauf hingewiesen, daß man, abgesehen z. B. von den nach meinen Erfahrungen recht guten sogenannten panchromatischen Platten von Kranzeder, München (Kranzpl. Nr. 3), nach den Angaben von Lewin, Miethe und Stenger sich die Platten selbst leicht durch Baden in einer Lösung des Farbstoffes Isokol sensibilisieren kann, allerdings nur zum jedesmaligen Gebrauch.**)

III. Fortlaufende photographische Registrierung eines in einer bestimmten Geraden sich bewegenden Punktes.

Man kann mit Recht die paradoxe Behauptung aufstellen, daß die optische Registrierung in Kurvenform schon lange vor der Erfindung der Photographie stattgefunden hat. Fällt z. B. nachts gerad vor uns ein Meteor

*) Nach den bisherigen Mitteilungen sowie einigen wenigen eigenen Versuchen mit der Lumièreschen Farbenphotographie glaube ich, daß sich dieselbe bei Registrierung der Farbenänderung der Tiere, Spiel der Chromatophoren usw. sehr gut anwenden läßt. Auch wurde bezw. von Poll auf dem diesjährigen Anatomenkongreß zu Gießen eine Reihe Lumièrescher Bilder projiziert, die Farbenanomalien von Vögeln (Fasanenmischlinge) zum Gegenstand hatten.

**) Eine gewöhnliche lichtempfindliche Platte wird in folgender Lösung gebadet: Von $1/10$ prozentiger alkoholischer Lösung von Isokol (Bayer & Comp., Elberfeld) 5 ccm, Alkohol 5 ccm, Ammoniak konzentr. 2 ccm, Aqua dest. 200 ccm. Die Lösung genügt für 8 Platten 9 mal 12 cm. Jede Platte wird zwei Minuten unter Schaukeln im Dunkeln gebadet, 3 Minuten in fließendem Wasser gewaschen und bei einer Temperatur von 25—28° C in 25—30 Minuten im Trockenschrank getrocknet.



herab und wir bewegen das Auge währenddessen in der Horizontalebene zur Seite, so sehen wir, infolge der Nachdauer der Erregung unserer Netzhaut eine Kurve, deren Form sich als abhängig erweist, von der Geschwindigkeit des fallenden Körpers einerseits und der Geschwindigkeit der bewegten Schreibfläche, d. h. der Netzhaut andererseits. Wären wir im obigen Beispiel imstande, das Auge mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit um die Vertikale zu drehen, so würde sich aus der Neigung der Meteorkurve gegen die Horizontale ohne weiteres die Winkelgeschwindigkeit des fallenden Körpers ermitteln lassen. Wir hätten damit die von Marey[13]) ausgesprochene Forderung für die photographische Registrierung in unserem, mit noch unbekannten lichtempfindlichen Stoffen beschickten Apparat erfüllt: eine geradlinige Bewegung als Funktion der Zeit darzustellen.

Würde neben dem Meteor ein im Raum fixer Punkt periodisch in kurzen Zwischenzeiten aufleuchten, wie z. B. der zwischen zwei Elektroden überspringende Funken des faradischen Stromes, so würden wir bei der Augenbewegung eine ganze Reihe leuchtender Punkte wahrnehmen, deren Winkeldistanzen im Netzhautbild uns wirklich die jeweilige Drehungsgeschwindigkeit ergeben könnten. Wir hätten also hier auch bereits das Prinzip der Zeitregistrierung, nach dem wir den Zeitwert, z. B. eines bestimmten Horizontalabstandes auf unseren Kurven ermitteln. Auf diese auch praktisch angewandte Methode, und zwar durch periodisches Aufleuchten von Induktionsfunken die Geschwindigkeit der Augenbewegungen zu messen, hat schon Helmholtz[32]) hingewiesen. Auch Marey[33]) erwähnt bereits 1868, daß die „impression persistante de notre rétine" als die älteste optische Methode der kurvenmäßigen Darstellung der Bewegungsvorgänge zu gelten habe, wie sie ja z. B. auch unter anderem bei der Betrachtung der Königschen Flamme im rotierenden Spiegel praktisch Verwendung findet.

Bei der namentlich zur Zeit der nassen Platten so außerordentlich viel geringeren Empfindlichkeit des photographischen Verfahrens gegenüber der photochemischen Prozesse im Auge, erscheint es nicht wunderbar, daß verhältnismäßig langsam die photographische Registrierung linearer Bewegungen in der Physiologie Eingang fand, wenn auch schon frühzeitig für die Verwendung des Lichtstrahles als gewichtslosen Fühlhebel Projekte entworfen wurden. So hat, wie Stein[34]) näher anführt, Czermak[35]) bereits 1863 zwei Methoden zur optischen Verzeichnung des Pulses vorgeschlagen. In einer nach unseren jetzigen Erfahrungen nicht ganz zweckmäßigen Weise führte Stein[34]) später jene Ideen aus.

Am Hebelende des Mareyschen Sphygmographen wurde ein geschwärztes Glimmerplättchen befestigt, das in der Mitte ein feines Loch besaß. Die von diesem ausgehenden Lichtstrahlen wurden von einem Objektiv auf der photographischen Platte zu einem leuchtenden Punkte vereinigt. Die Platte wurde in einer auf Rollen laufenden Schlittenkasette durch ein Uhrwerk vorbeigezogen (Photosphygmograph). Auch zahlreiche andere Versuche zur photographischen Kurvenschreibung, die jetzt nur noch historisches Interesse haben, sind bei Stein zu finden, z.B. Winternitz, Ultzmann Photographisches Pulsmanometer 1875 und Photothermographie.

Schon 1877 hatte Marey im Verein mit Lippmann die Photographie zu einer Registrierung herangezogen, die auf mechanischem Wege überhaupt nicht durchführbar war, die Registrierung der Ausschläge des Kapillarelek-

trometers.*) Das gleiche gilt für seine Aufnahme der Königschen oszillierenden Flamme.

Seit Beginn der 80-iger Jahre hat sich mit Einführung der viel empfindlicheren und leichter zu behandelnden Trockenplatten die Anwendung der photographischen Registrierung ganz außerordentlich ausgebreitet. Es würde ganz unmöglich sein, die verschiedenen Anwendungsweisen, die man jetzt bei einer großen Zahl physiologischer Untersuchungen trifft, zu beschreiben, und es muß genügen, die Haupttypen anzuführen, auf die sich leicht bei einer neuen Anforderung an die Registriertechnik das neue Verfahren zurückführen lassen würde.

Übersicht über die verschiedenen Methoden der photographischen Kurvenregistrierung.

A. Leuchtendes Objekt auf dunklem Grunde.	B. Dunkles Objekt auf hellem Grunde (einschl. des Falles, in dem hellere u. dunklere Flächen aneinander grenzen).
1. Registrierung bei natürlicher Größe oder Lupenvergrößerung.	
	1885 Bellarminoff[39]), Pupillenbewegung.
	1885 Cybulski[40]), Photohämotachometer.
1887 v. Kries[96]), Tachographie (leuchtende Flamme). Improvisierte Einrichtung am Baltzarschen Kymographion.	1887 v. Kries[41]), Flammentachographie.
1887 Tachanoff[61]), Mit Galvanometerspiegel wird 25 cm langer(!) Glashebel bewegt, der Papierstreifen als opt. Marke trägt.	
	1897 Garten[42]), Pupillenbewegung nach Verdunklung (Ultraviolett).
1898 Garten[45]), Lidschläge, Funken auf oberem Lid.	1898 Nagel und Samojloff[43]), Schallschwingungen im Mittelohr durch Flammenphotogramm.
	1900 Cowl[44]), Photographie eines durch den Puls bewegten Schirmes.
	1907 Samojloff[46]), Photographie eines mit dem freihängenden M. Sartorius verbundenen Platindrahtes (6fache Vergr.).
2. Registrierung bei starker Vergrößerung.	
	1876 Marey[79]), Ausschläge des Lippmannschen Kapillarelektrometers registriert

*) Es sei hier die charakteristische, auch von Kronecker[36]) in der Mareyschen Lebensbeschreibung erwähnte Stelle angeführt: „A l'oculaire du microscope mettons une plaque de verre dépoli, nous y verrons une image réelle de la colonne de l'électromètre et des mouvements qu'elle exécute. Substituons à cette plaque dépoli une glace recouverte d'un collodion sensible, nous obtiendrons l'image photographiée de cette colonne de mercure; enfin imprimons à la plaque sensible un mouvement de translation perpendiculaire au sens des mouvements de l'électromètre et nous aurons la courbe des changements de la tension."

A. Leuchtendes Objekt auf dunklem Grunde.	B. Dunkles Objekt auf hellem Grunde (einschl. des Falles, in dem hellere u. dunklere Flächen aneinander grenzen).
	1884 Burdon-Sanderson[80]), Aktionsströme des Froschherzens mit Kapillarelektrometer registriert. (Kalklicht, Spalt, Rollwagen mit Platte.)
1889 Hermann[53]), Phonophotographische Untersuchungen. Membran mit Spiegelchen, Projektion eines Spaltbildes. Geschwindigkeit der Schreibfläche 4—5 m(!).	
1890 Bernstein[49]), Sphygmophotographische Untersuchung (Pulsspiegel).	
1890 Bernstein[78]), Stromverlauf durch Lichtstrahl der von Telephonmembran reflektiert wird, aufgezeichnet.	
1891 Hermann[54]), Über Rheotachygraphie.	
	1892 Burch[81]), Kapillarelektrometerausschläge auf pendelnder Platte (Polarkoordinaten-Atwoodsches Prinzip).
1893 Matthias[55]), Über graphische Darstellung der Aktionsströme.	
	1895 Burdon-Sanderson[65]), Für Latenzbestimmung. Dickenschreibung am Sartorius. Hebel vergrößert abgebildet.
	1895 u. 1900 Einthoven[83]) u. [84]), Kapillarelektrometerausschläge registriert. Horizontalbewegung der Platte von 2 cm —1 m, Arbeiten im Tageslicht[84]).
1896 Boruttau[56]), Rheotachygraphie.	1896 Schenk[82]), Kapillarelektrometerausschläge auf Tachographentrommel registriert.
1896 Waller[60]), Photogr. Registrierung der Galvanometerausschläge (desgl. 1899[59]) und 1904[58]).	
1897 Bernstein[62]), Über die Latenzdauer der Muskelzuckung. Drehung eines Spiegels durch Verdickung der Muskeln.	
	1898 Du Bois-Reymond[97]), führt das Bild der Kapillare mit rotierendem Spiegel über feststehende Platte.
1899 Samojloff[71]), Zur Vokalfrage. Bewegung einer Korkmembran auf Spiegel übertragen, der den registrierenden Lichtstrahl reflektiert.	1899 O. Frank[76]), Photographie des Membranstiftes des zur Geschwindigkeitsmessung dienenden Differentialmanometers. (Hierzu 1903[77]) ausführliches Stiftmanometer.)
1900 Garten[70]), Spiegel an Torsionsachse zur optischen Registrierung der Spannungsänderung eines Muskels.	1900 u. 1902 Garten[72]) u. [88]), Kapillarelektrometerkurve im Polarkoordinatensystem. Gleichzeitige Verzeichnung des Koordinatennetzes. — 1902 Rechtwinkliges Koordinatensystem, desgl. zur mechanischen Analyse der Kurven.
	1901 O. Frank[64]), Vorrichtung zur photographischen Registrierung von Bewegungsvorgängen. Direkte Registrierung der Hebelbewegung, zugleich mit vergrößerter Abb. des Stiftes der Membranmanometer etc.

A. Leuchtendes Objekt auf dunklem Grunde.	B. Dunkles Objekt auf hellem Grunde (einschl. des Falles, in dem hellere u. dunklere Flächen aneinander grenzen).
	1901 Boruttau[85]), Kapillarelektrometer registriert Kassette mit Handbewegung. Ebenda auch Rheotachygraphie.
	1902 u. 1904 Bernstein-Tschermak[86]) u. [87]), Kapillarelektrometer registriert Spiegelung durch einen auf Kymographionachse rotierenden Spiegel auf ruhender Platte.
1903 O. Frank[48]), Puls durch Spiegelsphygmograph registriert (Spiegel entweder direkt oder mit Luftübertragung von Pelotte bewegt).	1903 Einthoven[89]), Aufnahme der Saitenbewegungen am Saitengalvanometer.
1904 O. Frank[47]), Mareysche Tambourmembran mit Spiegelchen verbunden dient zur Registrierung der Herztöne. (Desgl.[37]) 1905 Konstruktion u. Durchrechnung von Registrierspiegeln u. 1907 [75]) Tachographie mit Spiegelkapsel.)	1904 Garten[63]), Über ein neues Verfahren zur Registrierung von Bewegungsvorgängen. Seifenblasenkontur bei verschiedener Vergrößerung verzeichnet.
	1905 Hermann u. Gildemeister[106]), Photographische Kassette auf Rollwagen in der Horizontalen mit konstanter Geschwindigkeit vorwärtsgeschoben. Atwoodsches Prinzip.
	1905 Cremer[107]), Eine photographische Registriervorrichtung. Platte fällt in einer Atwoodschen Fallmaschine herab. Zum Arbeiten bei Tageslicht.
1906 u. 1908 May u. Lindemann[69]) u. [70]), Lichtstrahl an Seifenmembran gespiegelt dient zur Schallregistrierung.	
1907 Bose[57]), Galvanometer u. Blattbewegung gleichzeitig registriert. Umkehrung der Horizontal- in Vertikalbewegung durch Spiegelung.	1907 Einthoven[90]), Herztöne mit Saitengalvanometer registriert (Mikrophon zur Transformierung).
	1907, 1908 u. 1909 O. Weiss[78])[66])[67]), Schallregistrierung mit Seifenmembran, die mit versilbertem Glaswinkel verbunden.
1908 u. 1909 Gerhartz[50]), [52]), Seifenmembran mit zentral durch Faden fixiertem spiegelndem Glimmerblättchen zur Schallregistrierung.	1908 Samojloff[95]), Mehrfache Kapillarelektrometeraufnahmen auf einem Film.

Wie in beistehender Tabelle lassen sich die Methoden der photographischen Kurvenregistrierung einteilen in eine Gruppe A, in der Methoden angeführt sind, bei denen ein leuchtendes Objekt, das meist vertikale oder horizontale Bewegungen ausführt, auf lichtlosem Grunde aufgenommen wird; und in eine Gruppe B, die jene Methoden enthält, bei denen ein dunkles Objekt auf einem helleren Grunde zur Abbildung kommt. Zu dieser Gruppe wurde auch der Fall gerechnet, bei dem die Grenzlinie eines helleren und dunkleren Feldes als Kennzeichen für den Bewegungsvorgang dient. Die

beiden Methoden sind wesentlich verschieden in ihrer Anwendbarkeit. Im Falle A könnte die ganze Verzeichnung eines, beispielsweise in der Vertikalen bewegten, intermittierend aufleuchtenden scharf umschriebenen sehr kleinen Objektes ohne weitere Hilfsmittel auf einer mit lichtempfindlichem Papier überspannten Kymographiontrommel vorgenommen werden. Im Fall B muß dagegen von dem Bild der helleren, bzw. dunkleren Fläche ein möglichst feiner Streifen durch einen schmalen Spalt ausgeschnitten werden, so daß auf die horizontal bewegte Trommel nur ein feiner vertikaler Lichtstreif fällt, durch dessen verschiedene Lichtstärke die Kurven zustande kommen.

Ferner könnte man, worauf aber in beistehender Tabelle verzichtet wurde, die Methoden danach einteilen, daß 1., bei zahlreichen Verfahren die bewegten Organteile selbst verzeichnet werden, oder die Verzeichnung durch bestimmte Apparatteile erfolgt, die direkt durch die mechanische Bewegung des betreffenden Organs eine Lageveränderung erfahren; und daß 2. zahlreiche Vorgänge registriert werden, bei denen der ursprüngliche Prozeß mit mechanischen Bewegungsvorgängen nichts gemein hat, und erst eine Transformation der betreffenden Energieform erfolgt (Elektrizität, Wärme etc.).

Endlich kann in beiden Fällen die Registrierung, was allerdings eine mehr äußerliche Unterscheidung darstellt, aber der Übersicht halber in beistehender Tabelle berücksichtigt wurde, 1. nahezu bei natürlicher Größe, geringer Verkleinerung oder Lupenvergrößerung vorgenommen werden; oder 2. wenn der Bewegungsvorgang an und für sich zu klein ist, bei einer starken Vergrößerung. Diese läßt sich im Falle A leicht dadurch erzielen, daß das bewegte Objekt, wie bei der Gaussschen Spiegelablesung am Galvanometer mit einem kleinen Spiegel verbunden ist, dessen Bewegungen sich durch das reflektierte Strahlenbüschel stark vergrößert sichtbar machen, und aufzeichnen lassen. Betreffs der günstigsten Anordnung vergl. Frank[37]).

Im Falle B wird die Vergrößerung nach den Grundsätzen der Mikrophotographie durchgeführt, und man hat hier den Vorzug, leicht neben der betreffenden durch die starke Vergrößerung erst erkennbaren Bewegung im Schattenbild in der einfachsten Weise noch eine Reihe anderer Bewegungen in natürlicher Größe verzeichnen zu können.

Auch bei Transformationen der Energie wird, soweit es sich nicht um einfache Markierung eines Stromschlusses durch Markiermagnet und dergl. handelt, eine starke, meist durch das Mikroskop erzeugte Vergrößerung angewendet. Hier hat das Prinzip der Spiegelung wohl nur vorübergehend Verwendung gefunden, so durch Bernstein[38]) 1890, der den Verlauf der Induktionsströme dadurch sichtbar zu machen suchte, daß er das von einer spiegelnden Telephonmembran reflektierte Lichtbündel auf eine lichtempfindliche bewegte Platte fallen ließ. Ähnliche Versuche zur Darstellung der Muskelaktionsströme sind auch von Boruttau[91]) ausgeführt worden.

Die Hauptmethoden, die für Registrierung rascher Stromschwankungen in Betracht kommen, sind die Verzeichnungen der Bewegungen des Quecksilbermeniskus am Kapillarelektrometer und seit 1903 die Schwingungen der Saite des Einthovenschen Saitengalvanometers*). Gerade die beiden letzten

*) Herr Professor Einthoven hatte die Güte mich darauf aufmerksam zu machen, daß meine historische Darstellung über die Entdeckung des Saitengalvanometers in Bd. 2,

Aufgaben stellen an die Registriertechnik, was Geschwindigkeit der Verzeichnung und Güte des Bildes anlangt, die höchsten Anforderungen, und wir werden daher uns mit ihnen etwas eingehender zu beschäftigen haben.

1. Beleuchtung.

Handelt es sich um Registrierung langsam verlaufender Vorgänge, so kommt man mit einer Petroleumlampe, der elektrischen Glühlampe oder dem Auerlicht aus.

Hierzu würde gehören die zuerst von Dewar und Kendrik*) 1876

---

3. Abt. S. 428 dieses Handbuches fehlerhaft war. Es sei mir gestattet an dieser Stelle des Handbuches meinen Irrtum zu berichtigen, wozu mir durch die Freundlichkeit von Herrn Professor Einthoven, des Entdeckers selbst, eine kurze Darstellung zur Verfügung gestellt wurde, die außer einigen kleinen sprachlichen Korrekturen hier im Wortlaut folgt: „Ader hat einen Empfangsapparat für die Kabeltelegraphie konstruiert, den er „récepteur“, auf deutsch „Kabelempfänger“ genannt hat. Er hat nicht die Absicht gehabt, ein elektrisches Meßinstrument anzufertigen. Das Wort „Galvanometer“ wird sogar nicht gefunden in der ausführlichsten Beschreibung, die von dem Apparat besteht, und die mit einer Anzahl von Figuren versehen, unter dem Titel „Télégraphie sousmarine“ von der Hand von Rossel erschienen ist. (L'Éclairage électrique T. XII 3ième trim. Nr. 31 p. 191 und Nr. 33 p. 295. 1897.

Wahrscheinlich hat Ader gemeint, daß er, indem er einen einzigen Faden in ein magnetisches Feld ausspannte, die Empfindlichkeit aufopferte, welche bei Meßinstrumenten vorhanden ist, worin eine viele Windungen enthaltende Spule in ein magnetisches Feld aufgehängt ist. Die Schnelligkeit des Ausschlages müßte für ihn Hauptsache sein, weil man bei der Telegraphie, in Vergleichung mit den schwächsten meßbaren Strömen, über ziemlich starke Ströme verfügt.

Ich selbst habe versucht, ein für wissenschaftliche Untersuchungen geeignetes empfindliches Meßinstrument zu konstruieren und bin dabei von dem in der Physiologie vielfach gebrauchten Galvanometer von Deprèz-d'Arsonval ausgegangen. Bei meinen Berechnungen erhielt ich das überraschende Resultat, daß dieses Galvanometer eine um so größere Normalempfindlichkeit bekommt, je nachdem die Anzahl der Windungen der beweglichen Spule abnimmt. Eine Spule, die nur aus einer einzigen Windung eines sehr dünnen Drahtes besteht, ist die empfindlichste. Anstatt dieser einzigen Windung nahm ich eine gespannte Saite.

Meine Berechnungen waren fertig, als mir aus den Comptes Rendus (Vol. 122, p. 1220) der Apparat von Ader zur Kenntnis kam. Es ist gewiß merkwürdig, daß zwei Instrumente, die zu je einem andern Zwecke angefertigt worden sind, und bei deren Konstruktion ein verschiedener Gedankengang vorhanden war, eine so große Übereinstimmung im Bau miteinander aufweisen.

Es darf daran erinnert werden, daß es auch ziemlich große Unterschiede zwischen beiden Instrumenten gibt, die jedoch hier nicht näher erörtert zu werden brauchen. Es sei nur erwähnt, daß im Kabelempfänger von Ader die Saite 75 cm lang ist.

Aus obenstehender Auseinandersetzung ist wohl ersichtlich, daß von der Behauptung, Ader habe das erste Saitengalvanometer konstruiert und ich habe das Instrument verbessert, viel abgezogen werden kann.

Betrachtet man den Kabelempfänger Aders als ein elektrisches Meßinstrument, so ist es ungefähr 100000 mal unempfindlicher, als das Saitengalvanometer. Es ist an und für sich nicht sehr wahrscheinlich, daß ein bestehendes Meßinstrument, das verbessert wird, auf einmal so viel empfindlicher gemacht wird.“ Neuerdings sind diese und weitere diesbezügliche Ausführungen von Herrn Professor Einthoven in Pflügers Archiv veröffentlicht worden.

*) Dewar und Kendrik sprachen den Plan aus, das Lichtbild des Spaltes auf einer lichtempfindlichen Trommel zu registrieren, ließen aber den Plan als zu kompliziert fallen und begnügten sich damit, dem Lichtbild des Spaltes mit einer Tintenfeder auf der rotierenden Trommel zu folgen (S. 164).

geplante Registrierung der Galvanometerausschläge, wie sie besonders durch Waller (58—60) praktisch ausgeführt wurde und einen hohen Grad von Vervollkommnung erfuhr. Aber auch bei der Galvanometerregistrierung hat sich schon, wenn es sich um verhältnismäßig kürzere Belichtungszeiten handelt (z. B. bei der Rheotachygraphie) eine stärkere Lichtquelle, das elektrische Bogenlicht als nützlich gezeigt (vergl. z. B. Hermann[54]) und Matthias[55]), Boruttau[56]) etc.). In den meisten anderen Fällen ist, abgesehen von dem praktisch schwerer verwendbaren Zirkonlicht das elektrische Bogenlicht kaum zu umgehen. Nur für die Spiegelregistrierung bietet das Nernstlicht gewisse Vorzüge. Benutzt man einen Glühstab, bei dem die Heizspirale den Glühstab selbst nicht verdeckt, so kann man diesen linear ausgedehnten leuchtenden Streifen an Stelle des von einer Bogenlampe durchleuchteten Spaltes direkt projizieren. Ja in gewissen Fällen läßt sich der Faden einer einzigen Nernstlampe sehr weitgehend ausnutzen. So hat Frank[92—93]) z. B. eine zuletzt von Seemann[94]) näher beschriebene Anordnung getroffen, bei der sich in sehr handlicher Weise durch 3 übereinander angeordnete Objektive je 3 Lichtbüschel auf 3 mit verschiedenen Apparaten verbundene Spiegelkapseln werfen lassen. Die von den Spiegeln reflektierten Strahlen erzeugen auf dem vor dem Kymographion befindlichen Spaltschirm 3 verschiedene scharfe Bilder des Nernstfadens, deren Längsachse, genau so wie bei dem von Hermann verwendeten Prinzip der gekreuzten Spalte, senkrecht zur Richtung desjenigen Spaltes steht, der das Licht in das Kymographiongehäuse eintreten läßt.

Im allgemeinen kann man sagen, daß bei der Spiegelregistrierung Lichtquellen geringerer Intensität erforderlich sind, als bei der mikrophotographischen Methodik. Es ist dies zum Teil dadurch bedingt, daß in letzterem Falle eine größere Zahl von optischen Medien zu passieren ist, an deren Grenzflächen durch Reflexion und in denen durch Absorption ein Lichtverlust auftritt. Auch wird bei der Spiegelmethode meist die Lichtquelle selbst abgebildet und nicht, wie bei der Mikrophotographie ein Luftbild der Lichtquelle oder Sehfeldblende (siehe unten). Zum Teil aber hängt dieser Unterschied auch damit zusammen, daß wir in letzterem Falle meist viel rascher bewegte Schreibflächen anwenden müssen, um die einschlägigen, oft äußerst geschwind verlaufenden Vorgänge wirklich in ihren Einzelheiten verfolgen zu können.

R. Du Bois-Reymond versuchte beim Kapillarelektrometer das Bogenlicht durch ein Magnesiumblitzlicht zu ersetzen. Diese Methode dürfte schon deswegen keine weitere Anwendung finden, weil es sich beim Blitzlicht um eine ausgedehnte leuchtende Fläche handelt und wir bei starker mikroskopischer Vergrößerung meist dadurch ein Bild von einigermaßen größerer Lichtintensität erzielen können, daß wir das Bild einer sehr kleinen, aber recht intensiv leuchtenden Fläche (Krater der positiven Kohle) in der Objektebene entwerfen. Infolgedessen wird auch im allgemeinen durch Vergrößerung der verwendeten Stromstärke keine sehr beträchtliche Steigerung der Lichtintensität erreicht, weil mit der Zunahme der Stromstärke zwar die leuchtende Kraterfläche wächst, aber die von der Flächeneinheit der Kohle ausgeschickte Lichtmenge nur wenig gesteigert wird. Immerhin ist es gut, bei Kapillarelektrometer und Saitengalvanometer eine Lichtquelle

von möglichst großer Intensität zur Verfügung zu haben, da bei den verhältnismäßig starken Vergrößerungen und dem raschen Gang der Schreibfläche die Aufnahmen meist noch unterexponiert werden. Auch hat eine geringe Verstellung des Lichtbildes der ja nie ganz gleichmäßig brennenden Kohlen bei sehr hohen Intensitäten viel weniger leicht ein vollständiges Mißlingen der Aufnahmen zur Folge, wie dies bei nicht ganz genau eingestellten Bogenlampen von geringer Intensität sehr leicht eintritt. So standen im Leipziger Institut Bogenlampen mit selbsttätiger Regulierung von 30 Amp. Stromstärke sowohl am Saitengalvanometer als auch beim Kapillarelektrometer Verwendung. Dabei war es möglich, am Kapillarelektrometer bei starker, vielleicht 1000facher Vergrößerung die Kurven, trotz eines engen Spaltes, bei ca. 2 m Geschwindigkeit aufzunehmen.

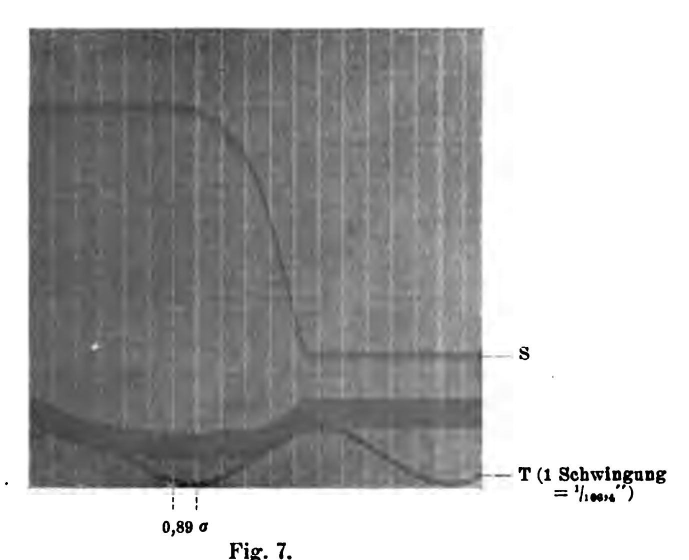


Fig. 7.
Ausschlag der stark gespannten Saite des Einthovenschen Saitengalvanometers bei Schließung eines konstanten Stromes. Geschwindigkeit der Scheibenfläche = 3,618 m.

Immerhin gelingt es auch, wovon ich mich im Gießner Institut notgedrungen überzeugen mußte, bei Handregulierlampen von nur 20 Amp. Stromstärke am Saitengalvanometer die gleichen Geschwindigkeiten zu erreichen. Ja mit dem von der Firma Schleußner für meine Zwecke besonders hergestellten, sehr empfindlichen Planfilms konnte die Saitenbewegung selbst bei 4 m Trommelgeschwindigkeit noch deutlich verzeichnet werden. Beistehende Kurve*) in Fig. 7 ist bei der nur wenig geringeren Trommelgeschwindigkeit von 3,618 m aufgenommen, sie zeigt die Bewegung der stark gespannten Saite am Einthovenschen Galvanometer bei Einschaltung eines konstanten Stromes. Der Abstand von je 2 Ordinaten beträgt 0,89 σ, so daß sich $1/_{10}$ σ noch gut abschätzen läßt.

*) Im Interesse besserer Reproduktion wurde diese etwas länger belichtete Kurve ausgewählt.

Nach den Erfahrungen von Marey, über Beleuchtung des Kapillarelektrometers durch Induktionsfunken und den schon erwähnten erfolgreichen Versuchen Bulls über die Photographie des Insektenfluges bei Beleuchtung durch die elektrischen Funken, die zwischen Magnesiumelektroden überspringen, erscheint es nicht ausgeschlossen, auf diesem Wege weiterzukommen. Insbesondere würde sich mittels des unter Umständen bis zu 2200 Unterbrechungen in 1″ liefernden Wehnelt-Unterbrechers die Aufnahme gleich mit einem Koordinatensystem gewinnen lassen (s. u.).

Bei allen Registrierungen, bei denen die Lichtquelle nicht selbst als Objekt dient, muß das Licht um eine möglichst intensive Beleuchtung des Objektes zu ermöglichen, auf diesem konzentriert werden. Wie Koehler[98]) hervorgehoben hat, ist bei jeder in den Strahlengang eingeschalteten Linse durch Absorption und Reflexion der Lichtverlust auf 10 % zu schätzen. Man soll deswegen bei der Mikroprojektion, und dasselbe gilt ja auch für die Projektion am Kapillarelektrometer und Saitengalvanometer, als Kondensorlinse eine einzige kleinere Linse verwenden, durch die ein etwa 4 mal vergrößertes

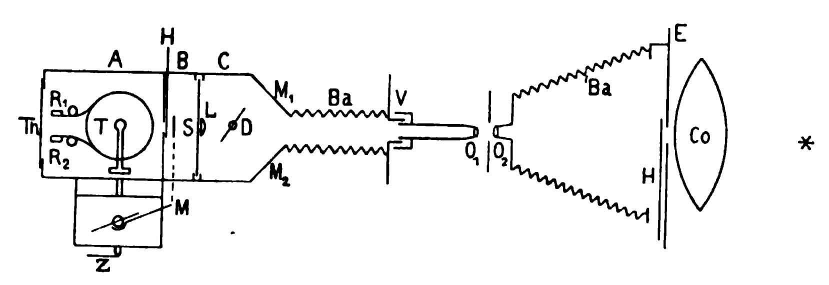


Fig. 8.
Aus: Frank, Ztschr. f. Biologie XLI, 1903, Oldenbourg, München.

Bild des Kraters auf die Irisblende des Abbéschen Kondensators entworfen wird. Als Durchmesser der Linse würde ein solcher von 8 cm ausreichen. Durch den Abbéschen Kondensator würde dann das Bild der Sehfeldblende, die etwa in der Ebene des ersten Kondensators liegen würde, in der Nähe der Objektebene abgebildet. Das Gesichtsfeld wird dadurch gleichmäßiger beleuchtet als bei der sonst geübten Methode, das Bild der Lichtquelle selbst in der Objektebene zu entwerfen. Betreffs der Anordnung bei schwacher Vergrößerung vgl. das Original.

Hat man, wie es beim Kapillarelektrometer erforderlich ist, um Erschütterungen des Instrumentes durch den Regulierapparat der Bogenlampe zu vermeiden, diese relativ entfernt aufgestellt, so kann man mit einer der üblichen starken Kondensatorlinsen (z. B. 14 cm Durchmesser) das Licht zunächst parallel machen und die Strahlen dann durch eine zweite Linse von gleichem Durchmesser konvergent machen, so daß der Strahlenkegel gerade die Öffnung des Abbéschen Kondensators erfüllt. Es entsteht dann sehr nahe über der Oberfläche des Kondensators das Bild des Kohlenkraters und etwas weiter gegen das Objektiv hin das Bild der zweiten Sammellinse, die in diesem Falle als Gesichtsfeldblende dient. Statt des Abbéschen Beleuchtungsapparates kann ein mikroskopisches Objektiv von genügender Apertur Verwendung finden. Insbesondere ist ein solches bei der Projektion mit dem großen Einthovenschen Saitengalvanometer zu verwenden. Es gilt

als Regel, daß man bei starker Vergrößerung des Saitenbildes auch ein Objektiv von der entsprechenden Apertur als Kondensatorsystem benutzt. Ich selbst verwende jetzt am großen Einthovenschen Saitengalvanometer den Seibertschen Kondensor (Katalog 33 von Seibert, Wetzlar, Fig. 62) von 1,1 Apertur, der sich nach Abdrehen der Fassung und Entfernen der Irisblende in den Tubus eingeschraubt genügend weit gegen die Saite vorschieben läßt, um das Bild der Gesichtsfeldblende etwa in der Objektebene zu entwerfen.

Besonders günstig scheint auch die von Frank[64]) empfohlene Anordnung, bei der durch eine Kondensorlinse (vergl. Fig. 8) das Bild der Lichtquelle etwa in die Ebene der Fassung des Objektives O_2 entworfen, alles Licht aber, das bei Erzeugung des Bildes nicht in Betracht kommt, durch den Schirm E abgeblendet wird. Durch das Objektiv O_2 wird in der Objektebene zwischen O_1 und O_2 das Bild des Kondensatorspaltes E entworfen.

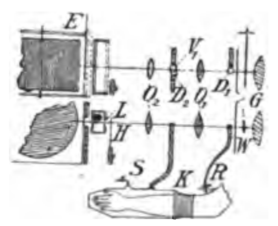


Fig. 9.
Aus: Garten, Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen etc. Pflügers Arch. Bd. 104, 1904, Hager, Bonn.

Die Projektionslinse O_1, die am besten, um Abbildungsfehler zu vermeiden, mit O_2 identisch ist, entwirft dann in der Spaltebene bei H das Bild des Kondensatorspaltes von E und zugleich das Bild des bewegten Objektes. Durch diese Mitprojektion des Kondensatorspaltes ist es möglich, Muskelhebel, Markierapparate und dergl. dadurch abzubilden, daß man sie, wie den Hebel H, nahe dem Kondensatorspalte aufstellt. Außerdem bleibt noch die übliche Methode, den schattengebenden Hebel direkt vor dem Spalt S der Trommel aufzustellen und so den Schatten direkt zu projizieren. Eine ähnliche Anordnung verwendete ich selbst[63]) bei der Photographie der Seifenblasenbewegungen, wo es sich bei makroskopischer Registrierung um die analoge Aufgabe handelte. Es wurde mit einem photographischen Objektiv O_1 (vergl. Fig. 9) das Bild der zur Druckregistrierung dienenden Blase D_1 in die Ebene projiziert, in der sich die zur Volumenschreibung dienende Seifenblase D_2 befand. Das Luftbild der ersteren und die zweite Blase wurden nun durch das zweite Objektiv O_2 auf der Spaltebene des Kymographions abgebildet, und es konnten jetzt selbstverständlich die Konturlinien der Blasenscheitel durcheinander gehen und sich kreuzen ohne jede Störung.

Zur Fernhaltung der Wärmestrahlen genügt es meist, die Strahlen nach Durchgang durch den ersten Kondensor einen Wassertrog passieren zu lassen. Hürthle[22]), der bei seinen kinematographischen Aufnahmen des lebenden Muskels Sonnenlicht zur Beleuchtung verwendete, schaltete durch eine ammoniakalische Kupferlösung auch die langwelligen leuchtenden Strahlen, die ja kaum bei der photographischen Bilderzeugung in Betracht kommen, aus. In späteren Versuchen verwendete Hürthle zur Absorption der Wärmestrahlen neben dem obengenannten noch einen Äskulinfilter ($^1/_2$ $^0/_0$-ige Lösung).

In gewissen Fällen kann es vorkommen, daß der Ablauf der Bewegung des zu registrierenden Objektes durch intensive Bestrahlung direkt oder

indirekt verändert wird. In diesem Falle wird es von Nutzen sein, Strahlungen zur Beleuchtung zu verwenden, die auf den Erregungsvorgang in dem betreffenden Objekt, bzw. in den mit ihm verbundenen Teilen ohne Einfluß sind. Es kam das z. B. bei der Pupillarreaktion in Betracht, wo die leuchtenden, ins Auge fallenden Strahlen eine starke Pupillenverengerung auslösen, während den so gut wie gar nicht wahrnehmbaren ultravioletten Strahlen, wenigstens bei mäßiger Intensität, jene Wirkung nicht zukommt. Verf. hat seinerzeit[42]) durch Beleuchtung des Auges mit ultraviolettem Lichte, das von einer Bogenlampe unter Verwendung von Quarzprisma und Quarzlinsen gewonnen wurde, die Pupillarreaktion nach Verdunklung, d. h. nach Ausschaltung der leuchtenden Strahlen, photographisch registriert. Nur mußte man an Stelle eines photographischen Objektives auch zur Projektion der Iris auf die Spaltebene des Kymographions eine Quarzlinse verwenden. Bei den jetzigen, an U. V. sehr reichen Quecksilberbogenlampen dürfte sich die vielleicht auch für andere Zwecke brauchbare Registrierung durch ultraviolette Strahlungen wohl leicht vervollkommnen lassen.

Kann man an Stelle einer indirekten Beleuchtung dem bewegten Objekt selbst die Fähigkeit des Leuchtens erteilen, so sind die Abbildungsverhältnisse besonders günstig*). So wurden[45]) z. B. die Bewegungen des oberen Augenlids von mir dadurch registriert, daß ich das Lid mit einem dünnen Kautschukisolierstoff überzog, der zwei einander sehr nahe Stanniolspitzen trug. Zwischen diesen sprang der durch ein Induktorium periodisch erzeugte Induktionsfunke über und man erhielt leicht beim Lidschlag im Dunkeln oder schwach erhellten Raum das Bild der Funkenreihe auf der lichtempfindlichen Schreibfläche. Die Methode erinnert an das oben beschriebene Verfahren von Fischer und Braune, bei dem sich auf stehender Platte durch die Fortbewegung des mit Geisslerschen Röhren versehenen Individuums die einzelnen charakteristischen Punkte des Körpers in Kurvenform abbildeten.

2. Die Projektionseinrichtung.

Sowohl bei der Abbildung durch Spiegel, als auch bei der mikroskopischen Projektion muß ein möglichst scharfes Bild in der direkt vor dem Film befindlichen Spaltebene erzeugt werden. Man wird also, wie es z. B. auch Frank getan hat, bei der Spiegelregistrierung zur Abbildung der Lichtquelle gute photographische Objektive benutzen, die wenigstens die chemisch wirksameren Strahlen wieder in einem Punkte vereinigen. Auch ist die Größe des Registrierspiegels durchaus nicht gleichgültig. Werden doch durch Spiegel kleinen Durchmessers in der Bildebene ebenso Diffraktionskreise erzeugt, wie bei Abbildungen durch das Mikroskop. So liefert z. B. nach Einthoven[89]), S. 1062, ein Spiegel von 3 mm Durchmesser bei einem Skalenabstand von 2,5 m von jedem Punkte der Skala einen Diffraktionskreis von ungefähr 1 mm Durchmesser. Oder, ist der Spiegelradius $r = 1$ und der Skalenabstand gleich 1000, so erhält man nach Einthoven den-

*) Anmerkung. Daß bei Beleuchtung des abzubildenden Objektes mit auffallendem Licht, wo ja die Strahlen nach allen Richtungen reflektiert werden, viel weniger Strahlen der Lichtquelle zur Bilderzeugung beitragen, als bei durchfallender Beleuchtung, braucht hier wohl nicht weiter erörtert zu werden. Vergleiche auch die geringe Helligkeit einer episkopischen Projektion im Vergleich zu einer diaskopischen.

selben Diffraktionskreis wie mit einem Objektiv von der num. Apertur 0,95, wenn mit ihm die Vergrößerung v = 950 erzielt wird.

Da sich der Durchmesser des Diffraktionskreises dem Durchmesser des Spiegels umgekehrt proportional ändert, hat man es in der Hand, durch Vergrößerung des Spiegeldurchmessers, freilich mit Zunahme des Trägheitsmomentes, genügende Bildschärfe und zugleich genügende Lichtintensität zu erzielen. Frank[37]) (S. 428) verwendet z. B. meist plangeschliffene Spiegel von nur 0,2 mm Dicke und 1 cm Durchmesser. Anwendung noch dünnerer geschliffener Gläser ist wegen der Gefahr des Verziehens nach Frank nicht zu empfehlen. Die Masse μ, auf die Flächeneinheit (qcm) berechnet, beträgt unter den genannten Bedingungen durchschnittlich nur 0,06 g.

Besonders hohe Anforderungen an die Bildschärfe sind bei der Abbildung des Meniskus des Kapillarelektrometers oder der Grenzlinie der Quarzsaite zu stellen. Da man, wenigstens bei Beobachtung von Nervenströmen, bestrebt ist, die Leistungen dieser Instrumente, was die Geschwindigkeit der Reaktion und was die Größe des Ausschlages betrifft, möglichst vollständig auszunutzen, so wird man meistens die stärksten, eben noch anwendbaren Vergrößerungen gebrauchen. Beim Kapillarelektrometer ist der Meniskus durch die Rohrwandung, die Schwefelsäureschicht und das den Trog begrenzende Deckglas meist über 0,5 mm von der freien Deckglasoberfläche, der das Objektiv genähert werden kann, entfernt. Die durch diese gewissermaßen abnorme Deckglasdicke bedingten Abbildungsfehler lassen sich bei den Apochromaten, die ja für die photographischen Zwecke meist verwendet werden, leicht korrigieren. So habe ich mir auf Anraten von Herrn Prof. Ambronn von der Firma Zeiss für das Kapillarelektrometer den Apochromaten von 8 mm Brennweite mit einer Korrektion auf eine Deckglasdicke von 0,6 oder 0,7 mm herstellen lassen.

Bei dem Einthovenschen Saitengalvanometer habe ich jüngst das umgekehrte Verfahren eingeschlagen und benutze hier, da ja jedes Deckglas fehlt, einen Zeissschen Apochromaten von 4 m, Apertur 0,95, der auf die Deckglasdicke 0 korrigiert wurde*). Es dürfte dieses das stärkste Trockensystem sein, das sich ohne Gefährdung der Saite noch anwenden läßt.

Die Verwendung der Apochromate mit starker Vergrößerung verlangt zur Ausgleichung der sonst entstehenden Abbildungsfehler den Gebrauch eines Projektionsokulars. Die Projektionsokulare müssen durch Drehen des Kopfstückes so eingestellt werden, daß die Blende im Innern des Projektionsokulares sich mit maximaler Schärfe in der Spaltebene am Kymographion abbildet, denn nur dann wird das Luftbild, das in der Ebene des Okulardiaphragmas entstehen soll, sich ebenfalls in der Spaltebene scharf abbilden. Wie von Koehler[99]) näher ausgeführt wurde, kann man sich die Einstellung ein für allemal durch ein entsprechend geeichtes Meßband erleichtern. Für schwächere Vergrößerungen ist die Benutzung des Projektionsokulars, die ja immer einen gewissen Lichtverlust bedeutet, nicht erforderlich. Der Versuch Hürthles[22]), bei der Immersion durch entsprechende Korrektion das Projektionsokular wegzulassen, um mehr Licht zu gewinnen, hat, wie er selbst betont, kein befriedigendes Ergebnis geliefert.

*) Wie Einthoven soeben mitteilt (Pflügers Archiv 1910), hat er genau die gleiche auf Deckglasdicke 0 korrigierte Linse verwendet.

Da bei den Registrierapparaten die Plattenbewegung meist nur in einer Richtung, in der Regel in der Horizontalen erfolgen kann, so wird es vielfach nötig, durch einfach optische Hilfsmittel die Bildebene so weit um die optische Achse zu drehen, daß der betreffende Bewegungsvorgang senkrecht zur Richtung der Plattenbewegung erfolgt. So wird man beispielsweise das Bild der Saite des Saitengalvanometers um 90 Grad drehen müssen, wenn

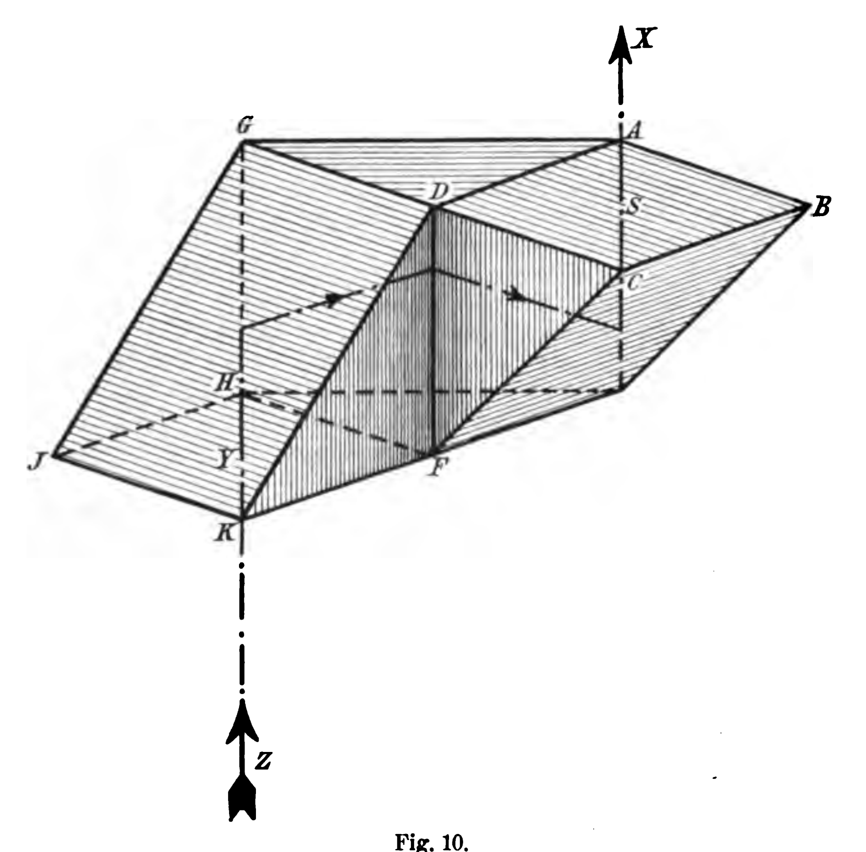


Fig. 10.
Reversionsprisma für das Saitengalvanometer nach einer Skizze der Firma Carl Zeiss, Jena.

man die in vielen Fällen bequemere Verzeichnung auf einem sich um die Vertikalachse drehenden Kymographion vornehmen will, bei der sich also die Schreibfläche in der Horizontalen vorwärts bewegt. Man erreicht eine Drehung der Bildebene um jeden beliebigen Winkel, wie schon Helmholtz[100]) gezeigt hat, durch Kombination zweier gleichschenkliger Glasprismen (S. 634).

Aber auch Spiegelung an einfachen Glasspiegelflächen kann unter Umständen, wie z. B. Bose[57]) angibt, zu einer derartigen Drehung des Gesichtsfeldes um die optische Achse benutzt werden. Bei Anwendung der reflektierenden Prismen ist der Lichtverlust ein verhältnismäßig geringfügiger und infolgedessen ist diese Anordnung auch wohl schon mehrfach verwendet

worden, z. B. von Weiss[66]) (S. 385) und insbesondere von Einthoven, wie aus einer Angabe von Cremer[101]) hervorgeht, zur Drehung des Bildes der Quarzsaite. Ich selbst habe mir von Zeiss eine derartige Prismenkombination anfertigen lassen, die sich direkt am Kopf des Projektionsokulars anschrauben läßt. Eine merkliche Beeinträchtigung der Bildschärfe tritt nach meinen Erfahrungen bei dieser Anordnung nicht ein, auch ist der Lichtverlust nicht sehr groß. Gelingt es doch trotz der geringen Lichtintensität einer Bogenlampe von nur 20 Ampère noch bei 4 m Plattengeschwindigkeit brauchbare Kurven zu erhalten.

In der von der Firma Zeiss gelieferten Prismenkombination (vergl. Fig. 10) trifft der Strahl Z Y senkrecht auf die Seitenfläche K I H F des ersten gleichschenklig rechtwinkligen Prismas auf, wird dann auf die Hypotenusenfläche G H A eines zweiten mit dem ersten verkitteten Prismas A D G H F gespiegelt und endlich von der Hypotenusenfläche des dritten Prismas D A B C F so reflektiert, daß der Strahl die eine Kathetenfläche A B C D in S wieder senkrecht durchsetzt. Die spiegelnden Prismenflächen sind gut versilbert.

Oft ist es erwünscht, denselben Vorgang in seinem Beginn bei großer Plattengeschwindigkeit und gleichzeitig oder unmittelbar danach den ganzen Verlauf des Prozesses bei langsamer Bewegung der Schreibfläche zu registrieren. Dieses läßt sich besonders leicht am Saitengalvanometer ausführen. Während der obere Teil der Saite auf dem Spaltschirm des Apparates für schnelle Verzeichnung entworfen wird, kann man den unteren Teil der Saite durch Einschaltung eines Spiegels auf den Spaltschirm des Kymographions mit langsamem Gang projizieren. Ich verwendete dazu das von mir 1904 beschriebene Kymographion, während zur raschen Aufzeichnung der von Cremer[101]) beschriebene Fallapparat Verwendung fand. Am Kapillarelektrometer, wo sich eine solche Teilung des Bildes nicht wie bei der Saite vornehmen läßt, würde man, soweit dies möglich ist, wohl am besten durch Wiederholung des Versuches nachträglich bei langsamem Gang die Verzeichnung vornehmen. Übrigens gibt es ja Kymographien (siehe unten), die einen sehr raschen Wechsel der Geschwindigkeit gestatten.

Spalt und Zylinderlinse.

Die Bedeutung des Spaltes liegt darin, von den Bildern der mehr oder weniger ausgedehnten Objekte, deren Bewegung registriert wird, eine Linie, oder richtiger einen schmalen Streifen auszuschneiden, der dann allein zur Abbildung kommt. Dieser Streifen würde sich bei bewegter Schreibfläche zeitlich nacheinander auf verschiedenen Stellen derselben abbilden.

Entbehrlich ist der Spalt nur in dem Falle, wo sich eine leuchtende Fläche von sehr kleiner Ausdehnung (Induktionsfunke) in der Vertikalen auf- und abbewegt. Registriert man durch einen vor dem Spalt sich drehenden Muskelhebel die Kontraktion eines, z. B. an demselben Hebel angreifenden Muskels, so hat man, gegenüber der gewöhnlichen Tangentialschreibung auf berußter Trommel den Vorzug, daß erstens die Punkte gleicher Zeiten vertikal übereinander stehen, zweitens das Abheben der Schreibfeder von der Trommelfläche bei großen Exkursionen nicht mehr in Betracht kommt, und drittens, daß die Hebung des Schattenbildes des Hebels der Längenänderung des Muskels

bei kleinen Exkursionen nahezu direkt proportional ist. Bei großen Exkursionen wird die Kontraktion im Schattenbilde unverhältnismäßig stark vergrößert.

Einfluß der Spaltbreite und der Geschwindigkeit der Objektbewegung auf die Schärfe der Kurve.

Sehr häufig beobachtet man, daß bei Hebung eines solchen Schattenbildes sich die dunkle Linie ganz außerordentlich verschmälert, ja in gewissen Fällen bei zu langsamem Gang der Schreibfläche, bzw. zu weitem Spalt oder auch zu rascher Hebung wird die Kurve während des steilen Anstieges überhaupt unsichtbar. Dies tritt in zahlreichen Kardiogrammen hervor, wo die Saite, die hier die Rolle des schattengebenden Hebels spielt, besonders steile Ausschläge macht.

Als Beispiel für dieses, den meisten bekannte Verhalten mag Figur 11 dienen, wo die weitgehende Verschmälerung des Saitenbildes ohne weiteres

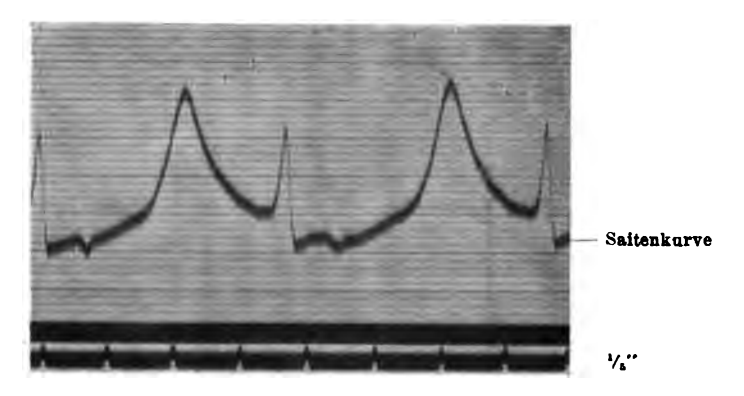


Fig. 11.
Elektrokardiogramm vom Menschen, bei Ableitung von beiden Armen.

auffällt. Da bisher für dieses selbstverständlich scheinende Phänomen keine ausführliche Erklärung gegeben ist, sei in beistehenden schematischen Figuren die Ursache auseinandergesetzt.

Es sei in Figur 12, 13 und 14 von einem Hebel von der Breite A B das Band A B X Z registriert worden und der Spalt habe die Breite Sp. Der einfachen Darstellung halber wird im folgenden angenommen, daß es sich um einen leuchtenden Hebel handele, der sich auf dunklem Grunde abbilden mag. Nimmt man an, daß statt der kontinuierlichen schwachen Belichtung z. B. nur 3 entsprechend intensivere „Momentanbelichtungen“ erfolgen, während sich die Schreibfläche zur Längsrichtung des Spaltes um eine Spaltbreite nach links verschiebt, so würden die Bilder des Spaltes, um je $^1/_3$ Spaltbreite verschoben, partiell aufeinander fallen, also A C D B auf A_1 C_1 D_1 B_1 und dieses auf A_2 C_2 D_2 B_2 usf. Es wird also, nachdem $^2/_3$ Spaltbreite vorübergegangen sind, solange der Hebel ruht, eine vollkommene dreifache Überdeckung der Bilder stattfinden. Dagegen wird die photographische Wirkung an der Stelle A A_1 B_1 B während des Vorübergehens vom ersten Drittel des

Spaltes ganz schwach sein und auch in dem Rechteck $A_1 B_1 B_2 A_2$ beträgt die Wirkung nur $^2/_3$ derjenigen, die während des übrigen Kurvenverlaufes zu beobachten ist.

Nehmen wir nun an, daß die schematische Kurve im Punkte K plötzlich ansteigt, dann wird, nachdem die Fläche MNOP kurz belichtet ist, die $^1/_3$ Spaltbreite später erfolgende Belichtung eine Fläche der empfindlichen Schicht bedecken, die, etwas höher gelegen, nur noch zum Teil mit der zuvor belichteten zusammenfällt ($M_1 N_1 O_1 P_1$). Und verfolgen wir das Bild des Hebels, wie es nach Verschiebung um $^1/_3$ Spaltbreite wieder entworfen wird, so deckt dieses die beiden vorhergegangenen Spaltbilder nur noch mit einer ganz geringen Fläche und in ähnlicher Weise zeigt sich an den steilsten Stellen der Kurve besonders, daß eine Deckung aller 3 einander folgenden Spaltbilder überhaupt nicht mehr zustande kommt, ja an der Stelle S sogar nur ein einziges Spaltbild sich eine Strecke weit abbildet. Entsprechend der kürzeren Exposition wird die Kurve hier vielleicht gar nicht mehr sichtbar sein, an den benachbarten Stellen aber nur in sehr verschmälerter Form, nämlich nur dort, wo sich 2 oder alle 3 Spaltbilder überdecken. Man erhält also eine verschmälerte und deshalb vielfach schärfer erscheinende Kurve an den Stellen raschen Anstiegs oder steileren Abfalls. Die nur schwach belichteten Nachbarteile treten zurück, weil meist der Spalt im Vergleich zur Breite des Hebels außerordentlich schmal ist. Die gleichen Überlegungen bleiben bestehen, wenn man, statt 3 Belichtungen, beliebig oder auch unendlich viel Belichtungen während der Verschiebung um eine Spaltbreite annimmt. Bei Zerlegung in eine große Zahl von Einzelbelichtungen wird jede einzelne eine dementsprechend viel geringere chemische Wirkung besitzen.

Sehr wesentlich anders wird das Bild, wenn man, wie in Figur 13, einen viel engeren Spalt annimmt. Hier wird bei derselben Breite des Objektes die Kurve überall sichtbar bleiben müssen. Die Anwendung eines sehr engen Spaltes ist also bei ausreichender Belichtung zu empfehlen, um auch die steilsten Kurventeile noch sichtbar zu machen. Andererseits kann man, wie in Figur 14, bei gleicher Spaltbreite, wie in Figur 12, statt des schmalen, einen breiten Hebel abbilden. Hierfür ist das Saitengalvanometer am ungünstigsten, das Kapillarelektrometer das günstigste Objekt. Auf diesen Punkt hat jüngst, worauf mich Herr Dr v. Brücke gütigst aufmerksam machte, A. Samojloff[102]) hingewiesen. Er hatte am Myographionhebel eine kleine Kartonplatte befestigt und bemerkt hierzu: „Dadurch wurde bewirkt, daß der entworfene Schatten keinen doppelten, sondern einen einfachen Kontur gab. Diese Maßregel ist zuweilen von großer Bedeutung, denn nimmt man im Falle einer langsamen Bewegung der Platte einen dünnen Hebel, der eine relativ rasche Erhebung und Senkung, wie bei der Muskelzuckung der Fall ist, ausführt, so kann dabei infolge stärkerer Einwirkung des Lichtes auf der nur langsam den Spalt verlassenden Plattenstelle zuweilen jede Spur einer Kurve fehlen. Durch die angeklebte Kartonscheibe haben wir für die Photographie des Hebels etwa dieselben Verhältnisse geschaffen, wie für die Photographie des Hg-meniskus von selbst gegeben sind."

Daß bei breitem Spalt und breitem Hebel die Konturlinie im anstei-

genden Teil weniger scharf wird als in Figur 13, geht ohne weiteres aus der Abbildung hervor. Es sei noch bemerkt, daß in allen 3 Figuren der Kurvenlauf genau der gleiche ist und in Figur 14 nur die Spaltbreite variiert ist.

Für eine ausreichende Belichtung der Schreibfläche ist es von großer Wichtigkeit, daß der Spalt eine hinreichende Breite besitzt. Für eine scharfe Wiedergabe des Bewegungsvorganges ist dagegen, wie schon aus obiger Darlegung hervorgeht, ein möglichst schmales Spaltbild erforderlich. Man hat deswegen schon frühzeitig (vergl. z. B. Burch 1892) den Kunstgriff angewendet, zunächst einen verhältnismäßig breiten Spalt und in gewisser Entfernung dahinter eine Zylinderlinse anzubringen. Die durch den Spalt tretenden Strahlenbündel werden durch Einschaltung einer Zylinderlinse, deren Längsachse der Längsrichtung des Spaltes genau parallel läuft, zu einer schmalen Lichtlinie zusammengebrochen. Übrigens ist auch der umgekehrte Weg eingeschlagen worden. Man hat die Zylinderlinse vor den Spalt gebracht, so daß auf der Spaltebene ein in einer Dimension verkleinertes und zugleich lichtstärkeres Bild des abzubildenden Objektes zustande kam. Nur von dem Teil des Bildes, der sich auf dem schmalen Spalt abbildet, werden Lichtstrahlen ausgehen, welche die dicht hinter dem Spalt gelegene lichtempfindliche Fläche treffen (vergl. Einthoven[89]) und Frank[41])*)).

Wie Burch mit Recht hervorhebt, gibt ein enger Spalt allein schon Veranlassung zur unscharfen Abbildung durch Beugungserscheinungen. Dies fällt natürlich weg, wenn wir die Zylinderlinse zwischen Spalt und Schreibfläche anbringen, nach dem von Burch eingeschlagenen Verfahren[103]). Allerdings empfiehlt es sich wohl nicht, eine so schwache Zylinderlinse anzuwenden, wie sie Burch früher brauchte (25 mm Brennweite), bei der er den Spalt 25 cm vor der Linse aufstellte.

Ich benutze vielmehr jetzt Zylinderlinsen von 2 und neuerdings sogar von 1 cm Brennweite**) und kann, was wohl nicht näher auseinander gesetzt zu werden braucht, den Spalt der Linse bis auf wenige Zentimeter annähern, wobei ich immer noch ein stark verschmälertes Bild des Spaltes auf der lichtempfindlichen Schicht erhalte. Den Spalt vor der Zylinderlinse anzubringen, ist besonders dann angezeigt, wenn die Grenzlinie zwischen heller und dunkler Fläche nicht ganz eben ist und, wie z. B. beim Kapillarelektrometer, einen Kreisbogen darstellt, oder grobe Hervorragungen besitzt, wie bei den versilberten Quarzsaiten. Hier ist es von größter Wichtigkeit, einen Teil des abzubildenden Objektes auf dem Spalt zu entwerfen, dessen Grenzlinie möglichst wenig von der Geraden abweicht.

Ferner ist es, wie weiter unten noch auseinander zu setzen ist, wichtig, zur Kurvenauswertung Horizontallinien auf die Schreibfläche zu entwerfen, und dies läßt sich, wie ich seinerzeit beschrieb, am leichtesten dadurch erreichen, daß man auf der Planseite der Zylinderlinse eine Millimeterteilung anbringen läßt, die, wenn sie der Schreibfläche nahe genug liegt, als Schatten

*) Anmerkung. Auch an dem Cremerschen Fallapparat ist von Edelmann die Zylinderlinse vor einem Spalt angebracht worden, und zwar liegt sie hier direkt auf dem Spalt.

**) Anmerkung. Geliefert von Zeiss, Jena. 100 mm sind geteilt; Breite der Striche 0,01 für die feineren, 0,08 für die dickeren Striche; Länge der Striche 5 mm.



sehr scharfe Horizontallinien liefert. Ist dagegen die Zylinderlinse zu weit von der Schreibfläche entfernt, so muß man, wie es Einthoven tat, noch eine Glasplatte mit Teilung einschieben, was immerhin einen gewissen Lichtverlust mit sich bringt. Die Breite des Spaltes richtet sich nach dem Grade der Unschärfe, der im gegebenen Falle zulässig erscheint. Bei Verwendung der Zylinderlinse wäre zwischen dem primären Spalt und dem terminalen Spaltbild zu unterscheiden, dessen Breite sich, wie bei jeder Konvexlinse, in bekannter Weise berechnen läßt. Die Unschärfe stellt sich z. B. bei einem im Winkel α ansteigenden Kurventeil, wenn wir von der Unschärfe des ruhenden Objektes absehen, durch einen Streifen dar, der dem Produkt aus der Breite des terminalen Spaltes und $\sin \alpha$ entspricht. In dieser Breite würde die Weißlichkeit des Grundes allmählich in die Schwärzlichkeit übergehen, und man kann annehmen, daß 0,1 mm für die gewöhnliche Betrachtung das oberste Maß der Unschärfe darstellt.

Meist ist am ruhenden Objekt die Grenzlinie zwischen hellem und dunklem Teil, z. B. an dem Quecksilbermeniskus, keine scharfe, sondern es geht, selbst bei günstigster Einstellung, die Schwärzlichkeit des Grundes nur allmählich in die Weißlichkeit des Objektes über. Bemerkenswerterweise ist diese Unschärfe, wenn man mit einem hinreichend engen Spalt arbeitet, bei ruhendem Objekt, also beim horizontalen Kurvenstreifen am größten und verliert sich mit der Geschwindigkeit der Bewegung (Steilheit der Kurve), wovon man sich besonders an zahlreichen Kapillarelektrometerkurven überzeugen kann. Am besten läßt sich ja auch hier geometrisch das Verschwinden der Unschärfe bei steilem Kurvenanstieg dadurch erklären, daß die dem Rand des Meniskus entsprechenden Zerstreuungskreise sich bei steilem Anstieg zum größeren Teile überdecken. Die Konstruktion wäre entsprechend der in Figur 14 auszuführen.

Eine besondere Vorsichtsmaßregel ist dann zu beobachten, wenn man gleichzeitig mehrere ganz verschiedenartige Vorgänge auf der gleichen Schreibfläche registrieren will. So wurden z. B. vom Verfasser[72]) bei der Verzeichnung der rhythmisch-elektrischen Erscheinungen am Muskel dadurch gleichzeitig die mechanischen Vorgänge registriert, daß der Muskel unter isometrischer Bedingung mittels kurzen Hebels einen festgespannten Draht um ein geringes Ausmaß torquierte. Die geringe Winkelbewegung wurde durch ein am Hebel befestigtes Spiegelchen in bekannter Weise dadurch sichtbar gemacht, daß ein Strahlenbüschel, das von einer zweiten Lichtquelle stammt, auf der lichtempfindlichen Platte ein Bild dieser Lichtquelle erzeugte. Da es bei solcher Mehrfachregistrierung, wo z. B. Latenzzeiten und dergl. bestimmt werden sollen, sehr darauf ankommt, daß die zu gleichen Zeiten registrierten Bilder in die gleiche Vertikalebene der Schreibfläche fallen, muß man darauf achten, daß die Mitte des Spiegelchens genau vertikal über oder unter der Verbindungslinie zwischen Projektionsokular und Spalt zu liegen kommen. Man kann übrigens leicht bei stehender Trommel durch eine kurze Belichtung mit beiden Lichtquellen sich eine Lagedifferenz sichtbar machen. Später hat Frank, mit Hilfe der Spiegelmethode ausführlich das Prinzip der Mehrfachverzeichnung dargestellt und hierbei für eine genaue Einstellung von 3 verschiedenen Spiegelkapseln eine geeignete fixe Anordnung empfohlen[92]) (S. 519, siehe auch oben S. 95).

Photokymographien.

Bis in die jüngste Zeit haben sich eine Reihe von Forschern der gewöhnlichen Kymographien bedient, die man teils im Dunkelzimmer aufstellte, und dann nur durch Schirme und dergl. vor falschem Licht schützte, oder es wurde das ganze Kymographion in einen Kasten eingeschlossen und dieser mußte dann zum Überziehen mit lichtempfindlichem Papier jeweilig ins Dunkelzimmer transportiert werden, bzw. muß der Experimentierraum selbst vorübergehend verdunkelt werden. Es ist nicht zu leugnen, daß auch mit solchen einfachen Mitteln von der Hand geübter Untersucher ganz ausgezeichnete Kurven erhalten worden sind

So benutzte z. B. Hermann [53]) für seine phonophotographischen Untersuchungen ein Baltzersches Kymographion, das in einem improvisierten Schutzkasten untergebracht war und gestattete, zahlreiche Kurven durch Heben der Trommel auf dem gleichen Papierstreifen aufzunehmen. Und an anderer Stelle erwähnt er, daß er sich auch einer Kassette bediente, die einfach mit der Hand hinter dem vertikalen Spalte horizontal verschoben wurde. In gleicher Weise benutzte auch Boruttau [85]) 1901 noch die Handverschiebung der Kassette, die, wie er mit Recht betont, den Vorteil gewährt, daß durch Verlangsamung der Bewegung am Schluß neben den raschen Veränderungen im Beginn in gedrängter Kürze auch noch der ganze Ablauf der Erscheinungen in großen Zügen verfolgt werden kann. Immerhin wurden andererseits frühzeitig auch schon besondere Photokymographien konstruiert, die wenigstens teilweise nicht die Übelstände der früheren Registrierapparate besaßen.

Man könnte die Photokymographien in solche einteilen, die nur im Dunkelzimmer gebraucht werden können, und solche, bei denen sich die Kassette oder das lichtempfindliche Papier durch geeignete Vorrichtungen im Hellen in den Apparat einziehen läßt, so daß nur zur Entwicklung überhaupt eine Dunkelkammer nötig wird.

Für den Gebrauch im Dunkelzimmer wurde ein sehr einfacher und dabei zuverlässig arbeitender Apparat von Burch [81 und 103]) (Fig. 8 S. 23) angegeben, den er als „Pendulum Motor" bezeichnet (Fig. 15). Derselbe beruht auf dem Prinzip der Atwoodschen Fallmaschine. Ein schwerer, um 0 drehbarer doppelarmiger Balken A—A wird durch ein an dem Seitenarm befestigtes Gewicht in drehende Bewegung gesetzt, sobald man die Arretierung bei G löst. Das Gewicht E fällt auf die Tischplatte F auf, und von diesem Moment an bewegt sich praktisch A—A mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Bei diesem Apparat wird auf der bei C—S in eine Kassette eingeschobenen Platte der Bewegungsvorgang im Polarkoordinatensystem verzeichnet. Die Punkte gleicher Zeiten liegen auf Linien, die radiär zu dem Drehpunkt 0 gerichtet sind, während sich ein ruhender Hebelrand und dgl. um den Drehpunkt 0 auf konzentrischen Kreisbögen abbilden. Im Beginn der Plattenpassage vor dem vertikalen Schlitz wird ferner durch den Hebel M der zur Reizung dienende Kontakt K geöffnet und endlich wird das äquilibrierte Pendel nach Vorbeischwingen am Schlitz durch die Arretierung X gefangen.

Wie Burch dargelegt hat, bietet die Verzeichnung im Polarkoordinatensystem für die Ausmessung der Kapillarelektrometerkurven gewisse Vorzüge (vgl. Garten [88])). Ich selbst habe jahrelang einen derartigen Apparat benutzt, bei dem die Bewegung durch Federkraft herbeigeführt wurde. Man kann mit dem Apparat sehr rasch arbeiten (schneller Plattenwechsel) und

hat den Vorteil, Glasplatten als Träger der empfindlichen Schicht verwenden zu können. Auf diesen ist bei sehr empfindlichen Emulsionen die Gefahr der „spontanen" Schleierbildung geringer. Auch sind die Verziehungen der Schicht, die zu Fehlern in der Längenmessung werden können, bei Glasplatten so gut wie ausgeschlossen.

Für die Verzeichnung im rechtwinkligen Koordinatensystem wurde vom Verfasser eine Schleudertrommel konstruiert, die ebenfalls für das Dunkelzimmer eingerichtet war und gestattete Geschwindigkeiten bis zu 2 m beim Registrieren anzuwenden.

Bei den bisher genannten Anordnungen befinden sich Lichtquelle, Kapillarelektrometer oder ein anderes Instrument, dessen Bewegungsvorgänge aufzuzeichnen sind, in einem Hellzimmer, und nur die, aus dem Projektionsokular des Mikroskopes austretenden Strahlenbüschel werden mit einem photographischen Verschluß durch eine Öffnung der Wand des angrenzenden Dunkelzimmers in dieses eingelassen. Man versieht zweckmäßig bei solchen Doppelzimmeranordnungen die Bretterwand mit einer Holzklappe und außerdem mit einer Öffnung, die durch einen längeren Tuchärmel geschlossen ist, so daß man jederzeit von innen die Mikrometerschraube des Mikroskopes und dgl. bedienen kann.

Bei den großen Vorzügen, die das Arbeiten im Tageslicht gewährt, dürften im allgemeinen Photokymographien für Verzeichnungen im hellen Raume vorzuziehen sein.

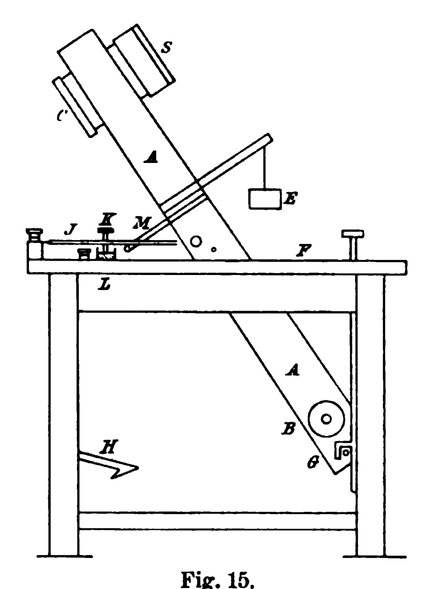


Fig. 15.
Aus: Burch, The capillary electrometer in theory and practice. London, Tucker 1906. Reprinte from the Electricism.

Von mehr improvisierten derartigen Konstruktionen aus älterer Zeit sei das Photokymographion von Stein erwähnt, bei dem eine Kassette auf einer horizontalen Schlittenbahn verschoben wurde. Dasselbe Prinzip wurde übrigens schon von Burdon-Sanderson und Page 1883 angewendet. Nach einer kurzen Angabe Uexkülls [104]) hat Schönlein ein gewöhnliches Kymographion durch eine, nicht näher beschriebene Konstruktion zur Lichtschreibung im Hellen eingerichtet, von der nur angegeben ist, daß die Trommel nach Überziehen mit lichtempfindlichem Papier im Dunkelzimmer in einem Kasten ins Hellzimmer transportiert werden konnte und hier durch geeignete Schiebvorrichtungen in den lichtdichten Kasten des Kymographions gebracht wurde.

Die auch sonst vielfach übliche Benutzung gewöhnlicher Kymographien zur Vorwärtsbewegung der Papierfläche, hat, wie schon v. Kries [96]) hervorhob, den Nachteil, daß infolge der stoßweisen Bewegung durch den Zahntrieb, das Kurvenblatt Ungleichförmigkeiten in der Belichtung zeigt, „Ungleichförmigkeiten, welche bei einer gewöhnlichen chronographischen Kurve noch kaum eine merkliche Deformation der Zeichnung ergeben". Später ist dieser Übelstand noch mehrfach bemerkt worden, besonders aber trat er in der von Bernstein und Tschermak [87]) gebrauchten Registriermethode hervor, bei der statt der Plattenbewegung ein auf der Achse eines Baltzerschen Kymographions befindlicher Spiegel die relative Verschiebung des Spaltbildes gegen

die Schreibfläche bewirkt. Hier sieht man direkt sogar kleine Zähnelungen der Kapillarelektrometerkurve, die höchst wahrscheinlich der durch den Spiegel vergrößerten ruckweisen Bewegung des Uhrwerkmotors ihr Dasein verdanken. Immerhin ist die von Bernstein und Tschermak gebrauchte Anordnung, die wohl auf die von R. du Bois-Reymond[97]) benutzte zurückgeht, geeignet, mutatis mutandis einen guten Verzeichnungsapparat abzugeben, nur muß man wegen mehrfacher Lichtverluste eine hinreichend intensive Lichtquelle zur Verfügung haben.*)

Für längere Aufnahmen hatte Belarminoff[33]) eine Einrichtung konstruiert, bei der ein Kasten, der 3 Rollen enthielt, die um vertikale Achsen drehbar waren, an die Stelle der Kassette eines photographischen Apparates gebracht wurde. Auf der einen Rolle war das lichtempfindliche Papier aufgewickelt. Dasselbe lief über die zweite Rolle, die direkt hinter dem Spalt sich befand, um auf der dritten Rolle aufgewickelt zu werden. Die Bewegung dieser dritten Achse wurde durch ein an der Außenseite der Kassette angebrachtes Triebrad vermittelt. Bei dieser einfachen Anordnung ist entsprechend der Zunahme des Durchmessers der aufwickelnden Rolle die Geschwindigkeit nie konstant.

Eine wesentlich vollkommenere Einrichtung für die Verzeichnung auf photographischem Papier oder Film hat Frank (Ztschr. f. Biologie Bd. 41) angegeben, bei der nach dem Prinzip der Tageslichtfilms im Hellzimmer das lichtempfindliche Papier auf einer Spule in das Kymographiongehäuse eingeführt werden kann. Das Film läuft dann von der Vorratsspule über eine größere Kymographiontrommel, um sich auf einer zweiten Spule, deren Drehung durch ein gewisses Übergewicht bewirkt wird, aufzuwickeln. Infolge der Reibung auf der großen Fläche der Kymographiontrommel erfolgt eine Vorwärtsbewegung der Papierfläche aber nur dann, wenn die Kymographiontrommel in Bewegung gesetzt wird. Durch eine geeignete Zeigervorrichtung an der Außenfläche des Kymographions läßt sich die jeweilige Abwicklung des Papiers kontrollieren. Ich kann auf eine nähere Darlegung dieses Apparates verzichten, da neuerdings ein wesentlich vervollkommneter derartiger Apparat von Frank für Registrierung auf längeren Papier- oder Filmstreifen hergestellt worden ist.**)

Das Prinzip des in Fig. 17 in Seitenansicht in Fig. 16 von oben skizzierten Hauptteils des Apparates ist kurz folgendes: Eine in einem zylindrischen Gehäuse eingeschlossene Metalltrommel***) hat an einem Teil ihrer Peripherie einen Ausschnitt (F. R. in Fig. 16, Ansicht von oben). Zentralwärts von dieser Stelle lassen sich im Innern des Hohlraumes der Trommel zwei Filmspulen einsetzen, in derselben Weise, wie es bei den Kodakapparaten geschieht. Es wird zunächst das auf der einen Seite mit schwarzem Papier umkleidete Film in der Dunkelkammer auf einer Spule aufgewickelt und durch ein längeres Band aus schwarzem Papier noch verlängert. Man kann dann ohne Gefahr des Schleierns die Spule im Hellen einsetzen und dann zieht man den Anfang des schwarzen Streifens um die Film-

*) Ich selbst habe in Gießen längere Zeit mit einer derartigen improvisierten Anordnung gearbeitet. Der Spiegel wurde durch einen, nach dem Atwoodschen Prinzip bewegten Hebel gedreht und die ganze Anordnung gestattete es, mit Kassetten im Tageslicht zu arbeiten. Trotz der Lichtverluste durch Reflexion usw. konnte ich die Geschwindigkeit bis zu 1 m steigern.

**) Zu beziehen durch Herrn Mechaniker Schmidt, Gießen.

***) Der lichtdichte Abschluß am oberen Trommelrand (Fig. 2) durch mehrfache winklige Knickung des Gehäusezylinders entspricht der von Einthoven verwendeten Abdichtung an seiner Gleitkassette.



trommel herum (vgl. die punktierte Linie in Fig. 16), um ihn auf der zweiten Spule wieder aufzuwickeln. Ist das erste Ende auf dieser letzteren befestigt, so wird die Tür des Trommelgehäuses geschlossen und man kann durch Drehen an einem Handgriff Z in Fig. 17 ein bestimmtes Stück Film von der ersten Vorratsrolle auf die große Trommelfläche herüberziehen. Da die Bewegung des Films von außen durch einen Tourenzähler kontrolliert werden kann, ist man imstande, die für jede Aufnahme nötige Papierstrecke abzuwickeln. Für den Versuch wird dann die große Trommel nebst den in ihrem Innern untergebrachten Filmspulen durch einen Motor (Phonographenuhrwerk oder Elektromotor) in gleichmäßige Drehung versetzt. Ferner

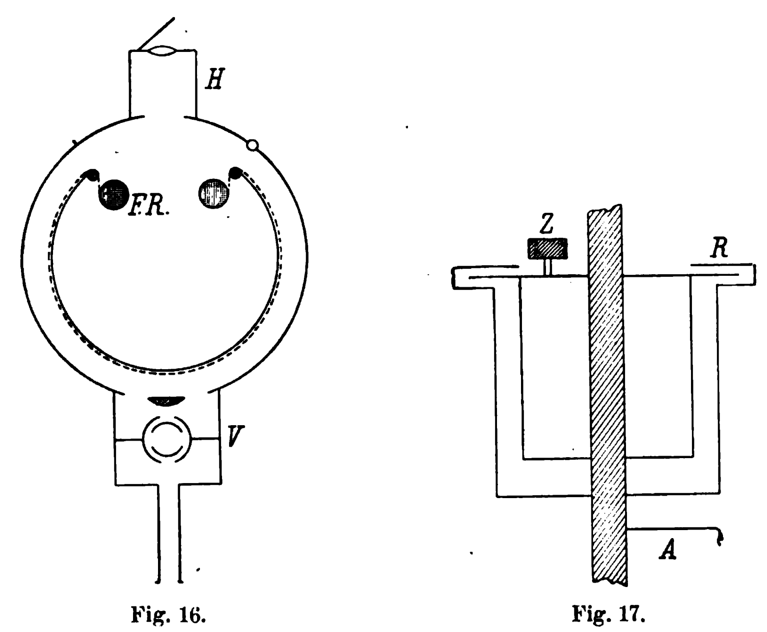


Fig. 16. Fig. 17.

Aus: **Frank**: Ein Kymographion für photographische Registrierung. Ztschr. f. biolog. Technik und Methodik, Bd. I, 1908. Straßburg, J. Trübner.

hat Frank die sinnreiche Methode angewendet, durch einen kleinen, am Gehäuse angebrachten photographischen Apparat hinter jeder Aufnahme auf dem Papierstreifen direkt Nummer und Datum des Versuchs photographisch aufzuzeichnen. Durch Kontaktapparate, deren Beschreibung hier zu weit führen würde, ist es möglich, während des gleichmäßigen Trommelganges den Verschlußspalt auf elektromagnetischem Wege zu öffnen, die Reizung auszuführen und nach nahezu einer Umdrehung den Spalt zu verschließen, um einer Mehrfachbelichtung vorzubeugen. Zwischen jeder Aufnahme ist weiter nichts erforderlich, als die eine Filmrolle genau wie bei jedem Eastman-Kodak weiter aufzuwickeln. Der Apparat ist für die Verzeichnung relativ langsamerer Vorgänge (bspw. Blutdruckschreibung) sehr geeignet und entspricht etwa dem Baltzerschen Kymographion in bezug auf die Geschwindigkeit der Schreibfläche.

Neuerdings wurde ein dem ursprünglichen Frankschen Apparat für Registrierung auf endlosem Papier ähnliches Kymographion nach Angaben desselben Forschers durch Herrn Mechaniker Schmidt (Gießen) konstruiert. Herr Professor Frank hatte die Güte, mir zu gestatten, bereits an dieser Stelle das Prinzip des Apparates kurz darzulegen. In Figur 18 sieht man 3 miteinander kommunizierende zylindrische Hohlräume von oben. In dem ersten befindet sich das auf einer Rolle A aufgespulte lichtempfindliche Papier. Dasselbe ist durch einen Schlitz in den zweiten Hohlraum hinübergezogen und läuft hier über eine Kymographiontrommel B. An diese kann es durch 3 übereinander angeordnete Rollen C mittels Elektromagnets angepreßt werden und wird dann von der Trommel B mitgenommen, wenn diese durch ein Uhrwerk oder dgl. in Bewegung gesetzt wird, aber nur so lange, als die Rollen von C elektromagnetisch gegen B gepreßt werden. Sobald die Rollen von C sich von der Trommel B entfernen, hört die Bewegung des Papiers auf, obgleich die Kymographion-

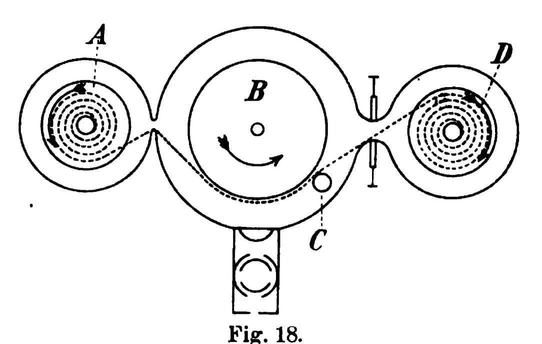


Fig. 18.
Neues Kymographion mit endlosem lichtempfindlichen Papier nach O. Frank.

trommel B weiter rotiert. Das durch die Bewegung von B am Spalt vorbeigeschobene Papier gelangt dann in einen dritten Hohlraum D, der sich durch Schiebervorrichtungen vom Kymographion lichtdicht abschließen und leicht vom übrigen Apparat entfernen läßt. Er allein braucht zur Entwicklung in die Dunkelkammer gebracht zu werden. Durch einen zwischen B und D angebrachten Schlitz kann ein dolchförmiges Messer eingeschoben und dadurch jederzeit das belichtete Papier abgetrennt werden. Da die Achse, welche die Rädchen bei C trägt, zugleich mit einem Zählwerk verbunden ist, läßt sich ohne weiteres die Länge des verbrauchten Papierstreifens ablesen. Es sei noch erwähnt, daß gleichzeitig mit dem Anlegen der Rädchen von C an die Trommel B und damit der Fortbewegung des Papiers elektromagnetisch der Momentverschluß geöffnet wird, der dann so lange geöffnet bleibt, als die Rollen bei C das Papier an B anpressen und damit eine Vorwärtsbewegung des Streifens bedingen. Der Hohlraum D, in den das belichtete Papier einläuft, besitzt einen rotierenden Boden. Hierdurch wird eine Aufwicklung des belichteten Papieres erreicht, so daß in D ein größeres Quantum Papier Platz finden kann. Sowohl diese von Herrn Mechaniker Schmidt ausgeführte Einrichtung der Aufwicklung des Papiers, als auch die Durchschneidung mit dem dolchförmigen Instrument

sind nach privaten Mitteilungen auf ältere Vorschläge Franks zurückzuführen.

Bereits vor einem Jahr hat auch Edelmann jun. einen Apparat zur Verzeichnung auf endlosem Papier angegeben, der nach dem gleichen Prinzip gebaut ist. Betreffs Einzelheiten der Konstruktion muß hier auf die Originalabhandlung [105]) hingewiesen werden. Auch die anderen Registriervorrichtungen Edelmanns sind in den leicht zugänglichen Mitteilungen der betreffenden Firma genügend beschrieben worden.

Für die Verzeichnung auf bewegter Trockenplatte sind 2 im Prinzip ähnliche Apparate von Einthoven [84]) und von Hermann angegeben worden. In sehr sinnreicher Weise hat Einthoven, wie aus beistehender Fig. 19

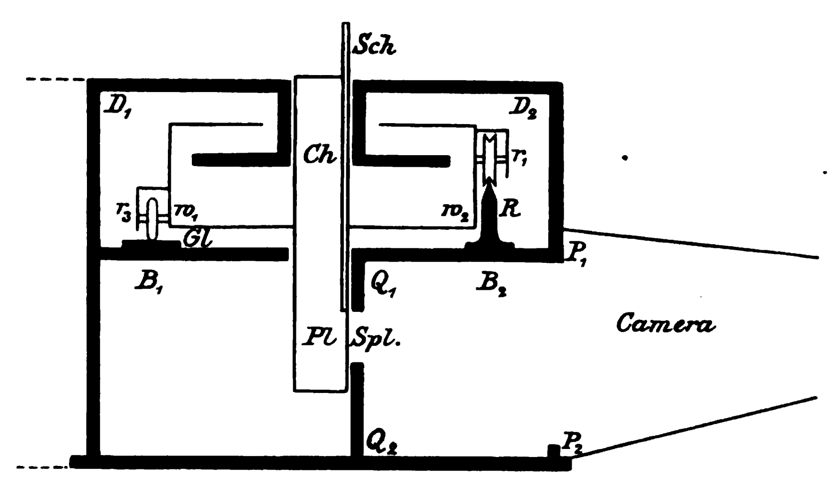


Fig. 19.
Seitenansicht des Einthovenschen Apparates zur photographischen Registrierung auf bewegter Trockenplatte. Aus Pflügers Arch. Bd. 79. Verlag Hager, Bonn.

hervorgeht, die Lichtdichtung seiner Kassette, die in einer Dose auf einem Rollwagen horizontal verschoben wird, bewirkt. Die Geschwindigkeit der Bewegung kann bei seiner Anordnung zwischen 2 cm und 1 m per Sekunde variiert werden. Eigenartig ist bei ihm das Prinzip der Vorwärtsbewegung der Kassette; es wird durch ein großes, von einem Elektromotor getriebenes Schwungrad durch Niederdrücken eines Hebels die Kassette mitgenommen und vorwärtsgeschoben, bis der Hebel in geeigneter Weise am Ende der Bahn arretiert wird.

Hermann und Gildemeister [106]) verwenden neuerdings (1905) einen von Edelmann solid gebauten Apparat, bei dem die Kassette ähnlich wie bei einer früher benutzten, mehr improvisierten Einrichtung in der Horizontalen mit konstanter Geschwindigkeit nach dem Prinzip der Atwoodschen Fallmaschine vorwärts geschoben wird. Eine ähnliche, mehr improvisierte Konstruktion wurde von ihm schon 1903 und zuerst von Boruttau 1901 für kapillarelektrometrische Registrierung verwendet. Der die Platte tragende Wagen läuft unten auf zwei Rädern, während er oben durch Gleithülse an

einem Stahldraht entlang geführt wird. Nach Abhebung des Gewichtes wird die gleichförmige Geschwindigkeit erreicht und am Ende der Bahn erfolgt die Arretierung durch Luftbremse.

Recht bequem ist auch die Form der Atwoodschen Fallmaschine für die Verzeichnung am Saitengalvanometer, bei der die Platte vor einem horizontalen Spalt*) herabfällt. Es ist das die nach Cremers[107]) Angaben von Edelmann ausgeführte Konstruktion. Da die Metallkassetten in sinnreicher Weise sich nach Einthoven in dem Apparat von außen öffnen und schließen lassen, kann mit dieser Einrichtung ebenfalls bei Tageslicht gearbeitet werden. Der Kassettenträger läuft in einer vertikalen, vollständig vor Licht geschützten metallenen Schlittenbahn auf- und abwärts und wird von einer Darmsaite gehalten. Diese geht über die Nut einer Kupferscheibe am oberen Ende des Apparates und auf der Rückseite trägt sie ein Gegengewicht, das je nach der gewünschten Geschwindigkeit mehr oder weniger vollkommen den Kassettenträger äquilibriert. Durch die Kupferscheibe, die sich beim

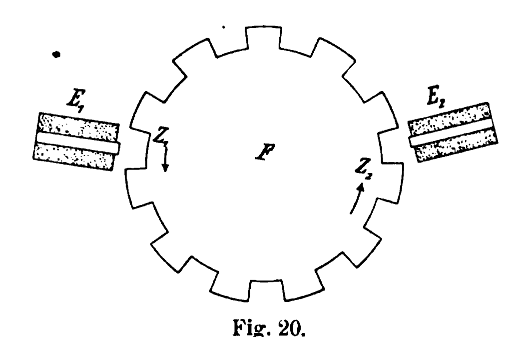


Fig. 20.
Tonrad von Paul de la Cour.

Herabfallen des Kassettenträgers zwischen zwei kräftigen Elektromagneten dreht, wird eine sehr starke Foucaultsche Dämpfung herbeigeführt, so daß die Geschwindigkeit bald nach Anfang der Fallbewegung zu einer gleichförmigen wird, indem sich ein Gleichgewicht herstellt zwischen der drehenden Kraft des Übergewichtes und der Gegenkraft der elektromagnetischen Dämpfung in der Scheibe. Ein auf Schlitten verstellbarer Helmholtzscher Schließungs- und Öffnungskontakt, der durch den Fallkörper in Tätigkeit gesetzt wird, erlaubt es, die Reizung im geeigneten Zeitmoment während des Falles der Platte vorzunehmen. Ist die Geschwindigkeit sehr gering, z. B. nur wenige Millimeter, so treten auch bei diesem Apparat Unregelmäßigkeiten auf. Immerhin ist die Geschwindigkeit bei diesem Apparat in weiten Grenzen zu variieren, und die Bewegung bleibt dabei eine äußerst gleichförmige. Im Leipziger Institut hat sich der Apparat für die Registrierung am Saitengalvanometer gut bewährt.

Auch das hydraulische Prinzip hat mit Erfolg zur Verschiebung der photographischen Platte Verwendung gefunden. So gibt Burch[103]) (l. c. S. 18)

*) Hierbei fällt die meines Wissens auch von Einthoven gebrauchte Drehung des Gesichtsfeldes durch eine Prismenkonstruktion, die ja immer einen gewissen Lichtverlust bedingt, weg.



eine Anordnung an, bei der ein Kolben durch Wasserdruck in einem horizontalen Rohr verschoben wird und sich durch einen Präzisionshahn der Wasserabfluß und damit die Plattengeschwindigkeit zwischen 0,3—5 cm variieren läßt. Neuerdings (1907) wendet Wertheim-Salomonson, wohl ohne den Burchschen Apparat zu kennen, für den Fallapparat das gleiche Prinzip an. Platten 9×18 werden dadurch mit konstanter Geschwindigkeit in der Vertikalen verschoben, daß ein Kolben durch Wasserdruck vorwärts getrieben wird. Ein Präzisionshahn erlaubt auch hier die Geschwindigkeit,

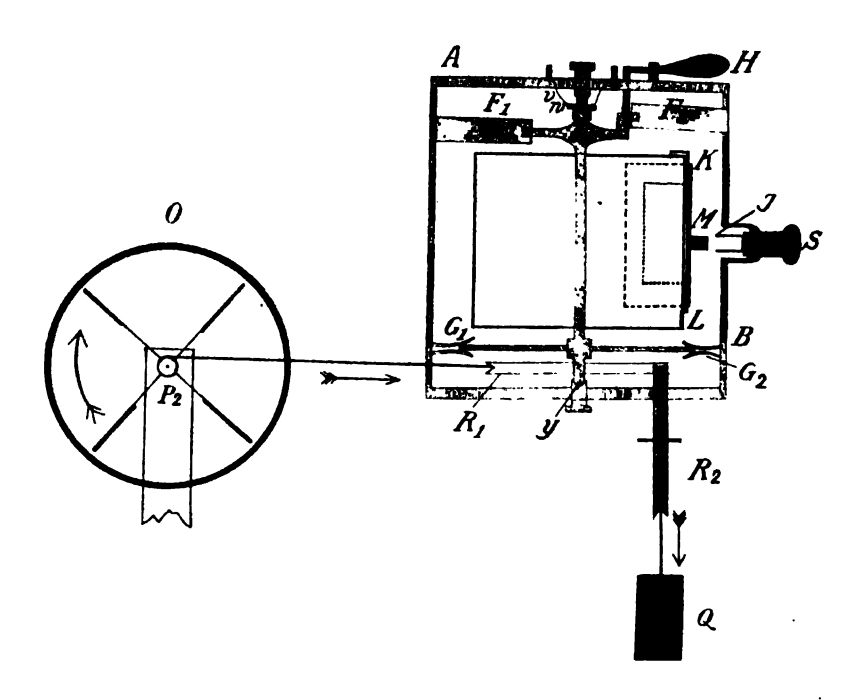


Fig. 21.
Photokymographion des Verf. Schematische Seitenansicht.

und zwar zwischen 1—150 mm, einzustellen, und bei Benutzung einer Übertragung kann die Geschwindigkeit bis auf 600 mm gesteigert werden. Erst unterhalb von 4 mm treten Unregelmäßigkeiten in der Bewegung auf.*) Ferner wurde die Kolbenbewegung nach einer mündlichen Mitteilung von Herrn Prof. Hofmann in einem Kymographion von Dodge und neuerdings in einem von Herrn Prof. Hofmann selbst konstruierten Kymographion verwendet.

*) Aus älterer Zeit (1887) sei hier auch das mittels einer schwingenden Feder in eigenartiger Weise elektrisch betriebene Kymographion von Kronecker[109]) genannt. Für die Drehungsgeschwindigkeit ist die Schwingungsfrequenz der Feder maßgebend.

Endlich sei hier noch darauf hingewiesen, daß die elektrisch angetriebenen Kymographien von Straub[108]) und Blix sich für gewisse photographische Zwecke wegen ihrer konstanten Geschwindigkeit, bzw. ihrer leicht durchzuführenden Variierung der Geschwindigkeit besonders eignen.

Im Institut Marey hatte ich Gelegenheit, ein neues, nach dem Prinzip von de la Cour von Bull konstruiertes Kymographion kennen zu lernen, das, wie Herr Kollege Bull mir an Kurven demonstrierte, an Genauigkeit des Ganges nichts zu wünschen übrig läßt.

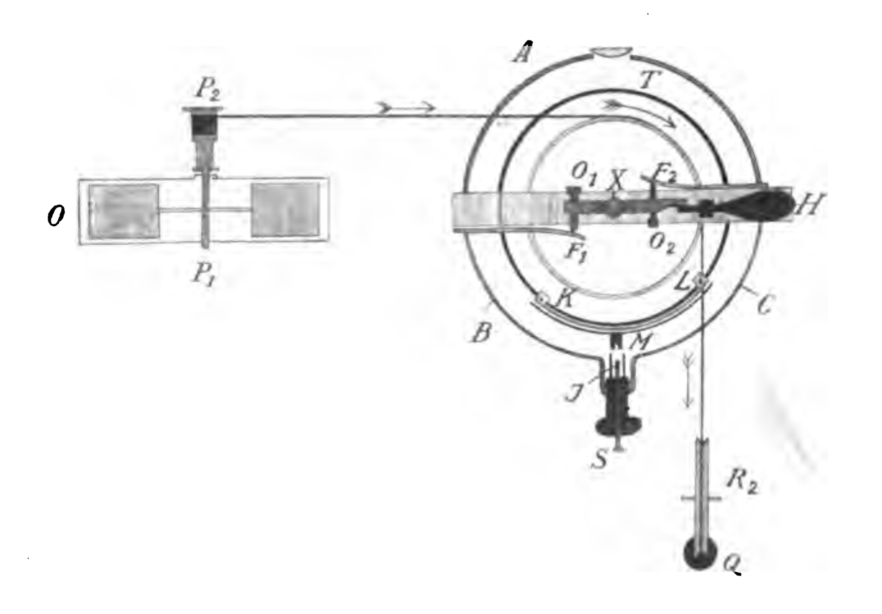


Fig. 22.
Photokymographion des Verf. Schematische Ansicht von oben.

Das Prinzip des de la Courschen Rades ist folgendes: Eine Stimmgabel gibt z. B. 50 Schließungen in 1″ in einem Stromkreis, in dem die beiden Elektromagneten E_1 und E_2 eingeschaltet sind. Dreht sich das Rad F mit einer solchen Geschwindigkeit, daß bei jeder Schließung sich je ein Zahn, z. B. Z_1 und Z_2 etc. (Fig. 20), dem Pole nähert, so bekommt die Scheibe eine Beschleunigung; dreht sie sich rascher, so erfolgt eine Verzögerung der Bewegung. Dadurch wird aber eine durch einen Anstoß herbeigeführte Bewegung in eine solche mit konstanter Geschwindigkeit verwandelt. Prinzipiell ist es möglich, dem Rade die 2, 3fache etc. Geschwindigkeit zu erteilen, so daß nun jeder zweite oder dritte Zahn bei der An-

näherung an den Pol einen Anstoß erhielte; doch ist, wenigstens bei dem von Bull gebrauchten Apparat, durch einfachen Anstoß eine solche Geschwindigkeit gar nicht zu erzielen. Von Bull wurde auch nach gleichem Prinzip ein kleines Photokymographion konstruiert, das, sehr leicht gebaut, zum Bespannen mit lichtempfindlichem Papier in toto in die Dunkelkammer gebracht wird.

Neu ist hierbei besonders die Anwendung einer Stimmgabel, deren eine Zinke sich in eine kurze Feder verlängert. Mit ihrem anderen Ende ist diese Feder an einem festen Klotz befestigt. Dadurch wird es möglich, sehr gleichmäßige Unterbrechungen zu erhalten, ohne die Kontaktschrauben, die an jener Feder den Kontakt geben, häufig nachstellen zu müssen. Durch feine Drähte, die zwischen je zwei Kontaktpunkten ausgespannt sind, ist zur Vermeidung rascher Oxydation an der Funkenstelle eine gut leitende Nebenschließung gegeben.

Neuerdings verwende ich ein Kymographion, das mit Kassetten versehen ist und ein recht bequemes Arbeiten bei Tageslicht gestattet. Es eignet sich für Registrierung bei sehr verschieden großen Geschwindigkeiten von 1 cm bis 4 m in der Sekunde. Der Apparat, wie er von Herrn Mechaniker Schmidt in Gießen auf meine Veranlassung konstruiert wurde, ist in Figur 21 in Seitenansicht, in Figur 22 im Grundriß schematisch wiedergegeben. Wie Figur 22 zeigt, befindet sich in dem zylindrischen Blechkasten A eine Trommel T, die aus dünnem Aluminium hergestellt ist und sich außerordentlich leicht und sicher um die Achse X Y dreht. Auf der Trommel lassen sich nach Öffnen einer Tür B C des Blechgehäuses mit einem Handgriff Aluminiumkassetten (KL) aufsetzen. Diese sind zylindrisch, konzentrisch zur Achse XY gebogen und sind außer dem soliden, mehrfach überfangenden Deckel aus dünnem Aluminiumblech hergestellt.

Der wichtigste Mechanismus bei der Anordnung ist nun die von Herrn Mechaniker Schmidt ausgearbeitete Methode der bequemen Öffnung des Verschlusses der Kassette in dem geschlossenen Blechgehäuse, die an den Mechanismus des Cremerschen Fallapparates erinnert. Der Kassettendeckel trägt in seiner Mitte ein solides rechteckiges Metallprisma M (Fig. 21 und 22) und dieses paßt genau in ein hohles Metallprisma I, das am Ende eines soliden Metallschiebers S sitzt, der in einer Führung läuft, die im Zentrum der Türe des Gehäuses beweglich angebracht ist. Es kann also, sobald die Kassette eingesetzt und die Tür geschlossen ist, bei einer außen sichtbaren Stellung der Trommel durch Vorschieben des Hohlprismas I das Prisma M des Kassettendeckels gefaßt werden. Es genügt dann, eine Umdrehung der Trommel um die Achse XY, um die Kassette aufzuziehen, und es ist nur noch notwendig, den Handgriff S etwas zurückzuziehen, so daß jetzt die Trommel mit der aufgezogenen Kassette an dem Kassettenschieber vorbeigeht, der jetzt von dem Hohlprisma I getragen wird. Es sei nur noch erwähnt, daß zur Sicherung an dem Schieber S eine kleine Schraube angebracht ist, durch die das Metallprisma des Kassettendeckels noch fixiert werden kann. In der gleichen Weise wird durch Umdrehen der Trommel die Kassette wieder geschlossen, nachdem zuvor der Deckel wieder gegen die Trommel vorgeschoben worden ist.

Für Aufzeichnungen bei raschem Gang wird die Trommel durch Federkraft herumgeschleudert. Hierzu werden die beiden Federn F_1, F_2 zunächst durch die beiden Stellschrauben O_1, O_2, wie besonders in Figur 22 deutlich angegeben, gespannt, und durch Niederdrücken des Handgriffes H kann die Arretierung jederzeit gelöst werden. Nach einem Umgang wird die Trommel durch die Federn G_1 und G_2 sofort gefangen, so daß ein Zurückprallen der Kassette ausgeschlossen ist. Hat man eine Reihe Kassetten zur Hand, so kann man sehr rasch hintereinander mit dem Apparate eine Reihe von Aufnahmen vornehmen. Nur das Einschieben der Planfilms in die Kassetten

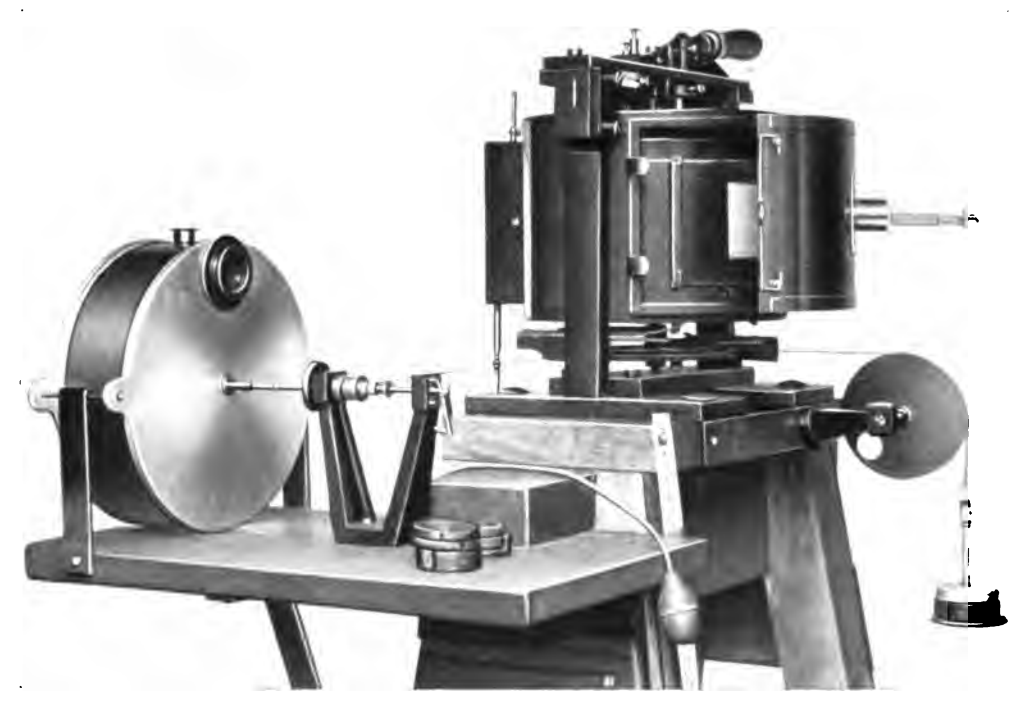


Fig. 23.
Photokymographion des Verf. Perspektivische Seitenansicht.

muß im Dunkelzimmer ausgeführt werden. Zu diesem Zweck hat die Kassette am oberen Rand einen schmalen Spalt, durch den man das Film einschiebt, das sich sehr gut der bogenförmigen Fläche der Kassettenwand anlegt. Bis jetzt verwendete ich für die größten Geschwindigkeiten die von der Firma Dr. Schleussner-Frankfurt extra angefertigten Planfilms. Zur Prüfung der Konstanz der Geschwindigkeit wurde für mittlere Federspannung der folgende Versuch gemacht. Zunächst erfolgte eine Aufnahme bei 1,59 m Geschwindigkeit, dann wurden 30 blinde Schüsse abgegeben und endlich eine zweite Aufnahme vorgenommen. Ich erhielt für die Schwingungen der Zungenpfeife (106,4 Schw. in 1″) und auch der Ordinaten von je 0,889 σ auf der Filmstrecke von 10 cm vollständige Deckung beim Übereinander-

legen beider Aufnahmen. In der Hauptsache dürfte es von der Güte der Federn abhängen, ob eine so weitgehende Konstanz sich an allen Apparaten wird erreichen lassen*).

Um recht langsame und doch gleichmäßige Bewegung zu erhalten, verwendete ich die Öldämpfung in folgender Weise. Neben dem Kymographion befindet sich ein im Vertikalschnitt kreisförmiges Gefäß O, in dessen Innern sich 4 Schaufelräder um die Achse $P_1 P_2$ drehen. Da das Gefäß

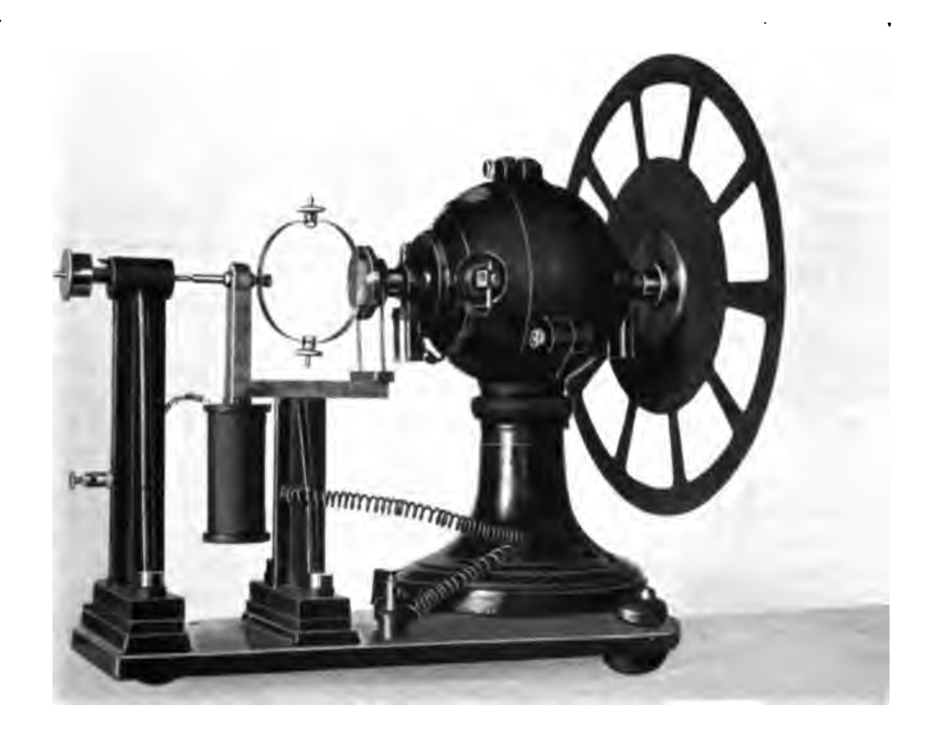


Fig. 24.
Elektromotor mit Zentrifugalregulator und Speichenrad nach dem Verf. (Konstruiert von Herrn Mechaniker Heder, Leipzig.)

vollständig mit Öl gefüllt ist, setzt es der Bewegung der Schaufeln einen sehr großen Widerstand entgegen. Von der Achse des Rades $P_1 P_2$ wickelt sich nun ein Faden ab, der über ein auf die Achse des Kymographions leicht aufschiebbares Triebrad R_1 und ein zweites vertikal stehendes Rad R_2 läuft, um dann das Gewicht Q zu tragen. Da sich der Faden von der verhältnismäßig dünnen Achse abwickelt, erzielt man, was gegen alle früheren Kymographionkonstruktionen hervorgehoben sei, ohne Zwischenschaltung

*) Vor kurzem (nach 3/4jährigem Gebrauch) beobachtete ich zufällig recht merkliche Differenzen in der Geschwindigkeit, die aber wohl leicht durch Auswechselung des auslösenden Stiftes oder dergl. zu beheben sind.

von Zahnrädern einen außerordentlich langsamen und gleichmäßigen Gang*). Für Variationen der Geschwindigkeit dienen verschieden starke Hohlzylinder, die sich auf der Achse $P_1 P_2$ aufstecken lassen. In gleicher Weise wirkt eine Veränderung des Gewichts Q. Mit dieser Anordnung habe ich sehr konstante Werte für die Geschwindigkeit erzielt: in dem Intervall von 90 mm pro Sekunde bis zu 10 mm pro Sekunde. Erst bei 5 mm Geschwindigkeit fand ich größere Abweichungen bis zu 4,5 %. Neuerdings konnte durch eine kleine Veränderung in der Konstruktion auch noch ein viel langsamerer Gang angewendet werden.

Als Kontakteinrichtung dient mir ein auf der Achse des Kymographions XY mit einer gewissen Reibung verschieblicher Ring W, dessen Peripherie teilweise aus Hartgummi, teilweise aus Metall besteht. Derselbe läßt sich leicht so einstellen, daß der Metallteil des Ringes im Moment, wo der Filmanfang den Spalt passiert, an die Feder V anstreift, und dadurch einen Kontakt herstellt, der während des ganzen weiteren Umganges der Kassette bestehen bleibt. Der Kontakt dient zumeist dazu, den Elektromagneten meines Kontaktapparates zu betätigen, der, vor dem Spalte aufgestellt, die Reizmomente äußerst genau optisch verzeichnet. Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit des Apparates mag Abb. 7 dienen, auf der die Schließung eines konstanten Stromes bei 3,618 m Geschwindigkeit mittels Saitengalvanometers registriert wurde. Figur 23 zeigt den beschriebenen Apparat in perspektivischer Ansicht. Auf der Rückseite ist die Tür des Gehäuses geöffnet, und man erkennt auf der Trommel die aufgezogene Kassette mit dem eingelegten Film. Auf der gegenüberliegenden Seite ist der Spaltkasten mit pneumatischem Verschluß und Zylinderlinse angebracht. Links in der Figur steht das zur Dämpfung dienende Ölgefäß. Auf der die Flügel tragenden Achse sind außerhalb des Gefäßes mehrere Rollen angebracht, von denen sich der Faden abwickelt, der dann über das Triebrad unter dem Kymographion und die rechts in der Figur sichtbare Scheibe läuft und dann an dem Gewicht angreift.

Die Registrierung des Koordinatensystems.

Da bei den im rechtwinkligen Koordinatensystem registrierten Kurven der Abstand zweier Punkte in vertikaler Richtung im allgemeinen der Größe der Exkursion des Objektes, der Abstand in der Horizontalen der Zeit entspricht, ist es für die Auswertung der Kurven von Wichtigkeit, mit ihnen zugleich ein den Koordinaten entsprechendes Liniensystem photographisch zu erzeugen, das direkt die Ablesung der Zeitdifferenz zwischen zwei Kurvenpunkten und ihres Vertikalabstandes gestattet. Zugleich liefern diese

*) Ist auch die Öldämpfung schon mehrfach zur Verlangsamung an Kymographien verwendet worden — nach einer Diskussionsbemerkung von Herrn Hofrat Exner auf der diesjährigen Naturforscherversammlung hatte sie bezw. schon Helmholtz benutzt und neuerdings fand sie im Würzburger Institut durch Herrn O. Meyer Verwendung —, so ist doch die obige Kombination neu, daß ohne Zwischenschaltung von Zahnrädern der das Gewicht tragende Faden sich direkt von der Achse des Dämpfungsrades abwickelt. Aber gerade durch diese Beseitigung jeglichen Zahngetriebes mit seinen wechselnden Widerständen ist es eben möglich auch bei sehr langsamen Geschwindigkeiten noch recht gleichmäßige Bewegungen der Schreibfläche zu erhalten.

Zeitordinaten den Beweis, daß eine bestimmte Geschwindigkeit wirklich während der Aufnahmen innegehalten wurde.

Von diesem Gesichtspunkt ausgehend, habe ich [72]) zunächst 1900 für das von mir noch verwendete Polarkoordinatensystem diese Verzeichnungsart durchgeführt. Die vertikalen (bzw. beim Polarkoordinatensystem radiär) verlaufenden Linien wurden dadurch erzeugt, daß vor dem Projektionsokular eine auf Elektromotorachse direkt montierte Pappscheibe rotierte, die 40 zirkulär angeordnete Ausschnitte trug. Zwischen ihnen blieben demnach 40 Speichen stehen, die bei ihrem Vorübergehen am Okular für ein kurzes Zeitteilchen das auf den Spalt fallende Strahlenbüschel abblendeten, dadurch blieb aber, wenn gleichzeitig die lichtempfindliche Platte vorbeibewegt wurde, ein, je nach Plattengeschwindigkeit und Dauer der Verdunklung breiterer oder schmälerer Streifen unbelichtet. Natürlich genügt es vielfach auch, die Speichen so schmal zu machen, daß nur vorübergehend eine geringe Verdunklung des Bildes entsteht. Es wird dann eine sehr zarte vertikale Ordinate, die den Kurvenverlauf weniger beeinträchtigt, entstehen. Bei sehr feinen Speichen, wie sie bei großen Geschwindigkeiten der Schreibfläche gebraucht werden, empfiehlt es sich, nach Art der Fahrräder feine Drähte zwischen einer inneren Metallscheibe und einem äußeren Metallring auszuspannen [110]). Ferner ist es für bequeme Kurvenmessung von Wichtigkeit, jede fünfte oder zehnte Vertikale etwa zu verstärken, was man leicht dadurch erzielt, daß man die Speiche etwas dicker macht, als die übrigen. Im allgemeinen gilt als Regel, um den Kurvenlauf nicht zu sehr zu stören, die Speichen so schmal zu machen, daß die resultierenden Ordinaten nur eben noch deutlich zu erkennen sind.

Um den Zeitwert der Ordinaten immer möglichst konstant zu erhalten, befindet sich die Episkotisterscheibe direkt auf der Achse eines Elektromotors angeschraubt, dessen Gang durch einen Zentrifugalregulator genau eingestellt wird. Und zwar habe ich mich bei dem von Herrn Mechaniker Heder, Leipzig, angefertigten Motor, Fig. 24 (S. 115), des von d'Arsonval angegebenen Regulationsprinzipes bedient: die Motorachse endigt in einem Ring aus Uhrfeder, der beiderseits zwei kleine Gewichte trägt. Bei raschem Gang wirken die beiden Gewichte durch die Zentrifugalkraft abplattend auf den Ring und führen bei einer bestimmten Geschwindigkeit zu einer partiellen Stromunterbrechung. Wie mir frühere Versuche mit Stimmgabeln ergeben hatten, waren die Geschwindigkeitsänderungen außerordentlich gering. Um auch bei geringerer Geschwindigkeit der Schreibfläche mit dem Motor Ordinaten zu erhalten, braucht man nur die Episkotisterscheibe gegen eine solche mit weniger Ausschnitten zu vertauschen. Sehr bequem ist auch bei Ordinaten von relativ großer Zeitdifferenz, — z. B. bei Intervall von 5—3 σ, — die Anwendung der durch Wasserluftpumpe getriebenen Zungenpfeife. Nur muß das mit der Zunge verbundene Fähnchen so gestellt sein, daß die Ausschläge nach beiden Seiten symmetrisch sind.

Um die Abszissenlinien zu erzielen, bediene ich mich einer feinen Millimeterteilung, die direkt auf der planen Seite der Zylinderlinse hergestellt ist. Je nach der Distanz der Zylinderlinse von der Schreibfläche wird die Millimeterteilung etwas gröber oder feiner zu halten sein. Bei einer Zylinderlinse von 10 mm Brennweite benutze ich bspw. jetzt eine

Teilung, wo jeder Strich 0,04 mm dick ist, während die Zehner die doppelte Dicke haben. Ist die Millimeterteilung relativ weit von der Schreibfläche entfernt, wie bei sehr schwachen Zylinderlinsen, so werden die Teile auf der Schreibfläche etwas vergrößert abgebildet, was sich natürlich leicht durch Benutzung einer entsprechenden Teilung korrigieren ließe. Man kann sehr gut, wie dies Einthoven gezeigt hat, die Schreibfläche und den Motor in ihrer Geschwindigkeit so regulieren, daß die Zeitlinien, wie bei dem üblichen Millimeterpapier sich in 1 mm Horizontalabstand abbilden und womöglich einem runden Zeitwert, z. B. 1 σ oder 10 σ entsprechen.

Das Prinzip der Ordinatenschreibung durch periodische Abdeckung eines Strahlenbüschels ist verhältnismäßig alt. Doch wurde die Verdunklung meist nur dazu benutzt. um die durch einen leuchtenden Körper geschriebene Lichtlinie periodisch zu unterbrechen. So erwähnt schon 1894 Marey [111]), daß man durch Verdunklung eines Lichtstrahles. wie bei der Morseschrift, eine Strichreihe erzielen könne, wobei jeder Strich einem bestimmten Zeitwert entspräche. Oder Hermann und Matthias [55]) bestimmen an ihren Rheotachogrammen den Zeitwert, in dem sie den als leuchtendes Objekt dienenden Spalt periodisch abdecken. In ähnlicher Weise benutzt Bernstein [49]) 1890 zu einer in Perioden von 2″ erfolgenden Abdeckung das Metronom. Besonders erinnert aber die Ordinatenschreibung an die Aufnahme eines bewegten Objektes durch Marey, z. B. an die Photographie der fallenden Kugel auf stehender Platte (vgl. oben Fig. 2 S. 79), bei der die zur periodischen Belichtung benutzte Scheibe, die vor dem Objekte rotierte, Fenster besaß. von denen jedes zehnte doppelt so groß als die übrigen war. Dadurch konnte die Lage der Kugel in den einzelnen Zeitteilchen leicht festgestellt werden, da jede zehnte Aufnahme der Kugel sich durch die längere Exposition deutlicher abhob.

Ferner hat O. Frank, unabhängig von mir, nach dem gleichen Prinzip sich eine Ordinatenschreibung hergestellt, (vgl. 77 1904). Auch schon früher hatte er übrigens ebenso wie die obengenannten Forscher durch periodische Verdunklungen vom Spiegel des Herzindikators punktierte Kurvenlinien erzeugt, deren Unterbrechungen zur Zeitmessung dienten. (Sitzber. d. Ges. f. Morphol. München 1898). Und endlich könnte man hierher auch die von Fischer und Braune 1895 diskontinuierlichen von den Geisslerschen Röhren erhaltenen Kurven auf feststehender Platte rechnen, oder die oben genannten beim Lidschlag auf bewegtem Film verzeichneten Funkenreihen.

Eine neue Methode der Ordinatenschreibung.

Im letzten Jahre war ich gezwungen, alle Erschütterungen durch den rotierenden Episkotister, insbesondere bei Versuchen über Schallregistrierung fernzuhalten und dadurch bin ich auf eine Modifikation meiner früheren Methode gekommen, die den Vorzug hat, daß keine Unterbrechung der Kurven stattfindet, und man sowohl bei dunklem Gesichtsfeld, wenn nur einzelne Lichtpunkte auf den Spalt treffen (Spiegelmethode), als auch dann, wenn eine diffuse Beleuchtung des Spaltes auftritt (Saitengalvanometer, Kapillarelektrometer), die Ordinatenverzeichnung leicht durchführen kann. Die Methode gründet sich darauf, daß periodisch der ganze Spalt durch Zuspiegelung erleuchtet wird (Ordinaten) und andererseits kann auch, was ich bisher noch nicht praktisch durchgeführt habe, das Bild einer feinen Skala, die klare Teilstriche auf dunklem Grunde enthält, mit ihrer Längsachse parallel zur Längsrichtung des Spaltes auf diesem erzeugt werden.

Zur Herstellung der leuchtenden Ordinaten wird in meinem Falle, z. B. ca. 5,5 m von der Versuchsanordnung entfernt das Bild eines glühenden Nernststabes mit einer gewöhnlichen Kondensorlinse auf einen schmalen Spalt entworfen (Fig. 25). Direkt hinter diesem, bei N_1, rotiert eine aus

Metallblech geschnittene Episkotisterscheibe E, die gewissermaßen das Negativ des gewöhnlichen Episkotisters darstellt. Eine Reihe schmaler radiärer Ausschnitte sind in der Peripherie angebracht und jeder zehnte besitzt die doppelte Breite der übrigen. Mit Hilfe einer schwachen Linse von großem Durchmesser wird nun, wobei es gar nicht auf eine scharfe Abbildung ankommt, das bei Rotation der Episkotisterscheibe periodisch aufblitzende Bild von N auf den Spaltschirm geworfen und zwar ist in den Strahlengang ein Spiegel R_1 R_2 eingeschaltet, der etwa 1,5 m vom Spaltschirm entfernt senkrecht über der optischen Achse der übrigen Versuchsanordnung (Saitengalvanometer, Spalt, Zylinderlinse) steht. In allen Fällen, wo das ganze Gesichtsfeld erleuchtet ist, reicht diese Art der Ordinatenerzeugung

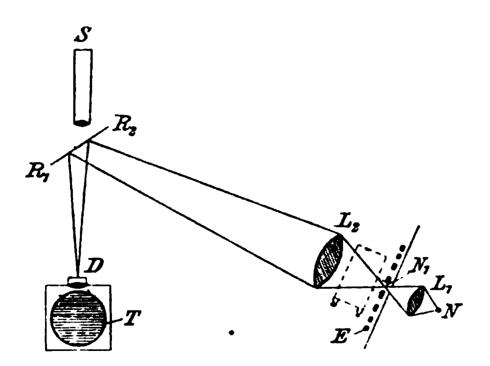


Fig. 25.
Aus: Garten, Beiträge zur Kenntnis des Erregungsvorganges im Nerven und Muskel des Warmblüters. Ztschr. f. Biologie, Bd. 52. Verlag Oldenbourg, München.

allein aus (vgl. obenstehendes Beispiel, Fig. 7 S. 93). Soll aber ein vollständiges Koordinatensystem in unbeleuchtetem Felde, wie bei allen Spiegelregistrierungen, erzeugt werden, so dürfte es sich empfehlen, das Bild einer feinen Millimeterskala, das klare Teilstriche auf dunklem Grunde trägt, außerdem noch in ganz der ähnlichen Weise auf den Spaltschirm zu projizieren *).

*) Die geschilderte Methode der Ordinatenschreibung, und nur diese konnte ich kürzlich dazu verwenden, bei gleichzeitiger Registrierung der Bewegungen der Saite des Einthovenschen Galvanometers und der Quecksilbersäule des Kapillarelektrometers auf derselben Schreibfläche für beide Kurven die sicher gleichen Zeitmomente zu markieren.

Literatur.

1) Eder, Handbuch der Photographie. Halle a. d. Saale 1895—1905.

2) Cowl, Über lineare Kinematographie etc. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1900, Suppl. S. 331.

3) Luther, Die chemischen Vorgänge in der Photographie, Halle 1899.

4) Lüppo-Cramer, Kolloidchemie und Photographie, Dresden, Th. Steinkopff 1908.

5) Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie, Leipzig, 1908 (M. Eger).

6) Marey, Développement de la méthode graphique, Paris 1885.

7) Janssen, Bulletin de la Société française de Photogr. 14. Déc. 1876.

8) Onimus und Martin, 1865 (zit. nach Marey, Le mouvement S. 48, 1894).

9) Stillmann, The horse in motion 1882 (Muydbridge).

10) Marey, Analyse du mécanisme de la locomotion au moyen d'une série d'images photographiques recueillies sur une même plaque et représentant les phases successives du mouvement. Compt. rend. T. 95, 1882, S. 14.

11) Marey, Emploi de la photographie pour déterminer la trajectoire des corps en mouvement avec leurs vitesses à chaque instant et leurs positions relatives. Compt. rend. T. 95, 1882, S. 267.

12) Marey, Analyse des mouvements du vol des oiseaux par la photographie. Compt. rend. T. 96, 1883, 14. Mai.

13) Marey, La méthode graphique. Supplément S. 13, 1885.

14) Bull, La chronophotographie des mouvements rapides. Extr. d. Bullet. d. la société philomathique 1904 und Travaux de l'Assoc. de l'institut Marey 1905, S. 121.

15) Hürthle, Über die Struktur der quergestreiften Muskelfasern. Pflügers Arch. 126, h. 1—4, 1909.

16) Weiss, Die Chronophotographie. Ergebn. d. Physiol. 1906.

17) Braune und Fischer, Gang des Menschen. 1. Teil. Versuche am unbelasteten und belasteten Menschen. Abh. d. mathemat. phys. Kl. d. königl. Sächs. Ges. d. W. XXI Bd. Nr. 4, 1895, siehe auch Fischer, dieses Handbuch II, 3, S. 283.

18) Marey, Rapport. Institut de France, Académie de Sciences. Premiers travaux de la commission internat. de controle des instruments enregistreurs et d'unification des méthodes en physiologie. Assoc. internation. des Académies.

19) Athanasiu, Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey, 1905.

20) Bull, La synthèse en chronophotographie. Bullet. d. l. Soc. philomath. 12. Novembre 1904.

21) Meirowsky, Neue Unters. über die Totenstarre quergestreifter und glatter Muskeln. Einleitung von Hermann. Pflügers Arch. 78, 1899, S. 64.

22) Hürthle, Über die Struktur der quergestr. Muskelfasern von Hydrophilus. Bonn 1909.

23) Noguès, Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey, 1905.

24) Carvallo, Rapport présenté au VIIème Congrès de Physiologie au nom de l'Assoc. intern. de l'institut Marey.

25) Eykmann, Der Schlingakt, dargestellt nach Bewegungsphotographien mittels Röntgenstrahlen. Pflügers Arch. 99, 1903, S. 513.

26) François-Frank, La chronophotographie simultanée du cœur et des courbes cardiographiques chez les mammifères. Compt. rend. de la Soc. de Biol. Bd. 54, 1902.

27) François-Frank, Nouvelles recherches sur l'action des muscles respiratoire instanée. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 56, 1904.

28) François-Frank, Note sur quelque points de technique relative à la photographie et la chronophotographie avec le magnésium à déflagration lente. Compt. rend. de la Soc. de Biol. 55, 1903, p. 1538.

29) Garten, Über die Veränderungen des Sehpurpurs durch Licht. Arch. f. Ophth. 1905.

30) Lewin, Miethe und Stenger, Über die durch Photographie nachweisbaren spektralen Eigenschaften der Blutfarbstoffe und anderer Farbstoffe des tier. Körpers. Pflügers Arch. 118, 1907, S. 80.

31) Rost, Die Photographie des Blutspektrums. Physiol. Ges. Berlin 15. Jan. 1909 aus Med. Klin. 1909, Nr. 7.

32) Helmholtz, Physiol. Optik 1896, 2. Aufl.

33) Marey, Le mouvement dans les fonctions de la vie. Paris 1868.

34) Stein, Das Licht im Dienste der wissenschaftl. Forsch. Halle 1888.

35) Czermak, Ges. Abh. I, 2, Sphygmographische Studien, Leipzig, 1879.

36) Kronecker, Marey. Travaux de l'Assoc. de l'institut Marey, 1905, S. 19.

37) Frank, Konstruktion und Durchrechnung von Registrierspiegeln. Ztschr. für Biol. XXVIII, 1905.

38) Bernstein, Phototelephonische Unters. des zeitl. Verlaufes elektr. Ströme. Sitzber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1890, S. 153.

39) Bellarminoff, Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung. Pflügers Arch. 37, 1885.

40) Cybulski, Bestimmung der Stromgeschw. des Blutes in den Gefäßen mit dem Photohämotachometer. Pflügers Arch. 37, 1885.

41) v. Kries. Ein Verfahren zur quantitat. Beobachtung der Wellenbewegung des Blutes. Du Bois-Reymonds Arch. 1887, S. 279.

42) Garten, Beiträge zur Kenntnis des zeitl. Ablaufes der Pupillarreaktion nach Verdunklung. Pflügers Arch. Bd. 68. 1897, S. 68.

43) Nagel und Samojloff, Einige Versuche über die Übertragung von Schallschwingungen auf das Mittelohr. Arch. f. Physiol. 1898, S. 505.

44) Cowl, Über lineare Kinematographie insbesondere die Photographie des Pulses. Du Bois-Reymonds Arch. 1900, Suppl. S. 331.

45) Garten, Zur Kenntnis des zeitlichen Ablaufes der Lidschläge. Pflügers Archiv, Bd. 71, 1898.

46) Samojloff, Über rhythmische Tätigkeit des quergestreiften Muskels. Archiv f. Anat. u. Phys., physiol. Abt, 1907, S. 145.

47) O. Frank, Die unmittelbare Registrierung der Herztöne. Münchener med. Wochenschr. LI 22, S. 953, 1904.

48) O. Frank, Die Registrierung des Pulses durch einen Spiegelsphygmographen. Münchener med. Wochenschr., Nr. 42, 1903.

49) Bernstein, Sphygmographische Versuche. Fortschr. d. Mediz., 15. Febr. 1890, Ref. Ztbl. 1890.

50) Gerhartz. Die Aufzeichnung von Schallerscheinungen, insbesondere die des Perkussionsschalles. Zeitschr. f. experim. Pathol. u. Ther. V. 1909 (H. 1, 27, 1908).

51) Gerhartz, Registrierung von Bewegungsvorgängen mit feuchten Membranen. Pflügers Archiv 124, 1908.



52) Gerhartz, Zur Frage der Registrierung von Bewegungsvorgängen mit feuchten Membranen. Pflügers Archiv 128, S. 600, 1909.

53) Hermann, Phonophotographische Unters. Pflügers Archiv 45, 1889.

54) Hermann, Über Rheotachygraphie. Ein Verfahren zur Registrierung schneller elektrischer Vorgänge. Pflügers Archiv 49, 1891, S. 539.

55) Matthias, Über graphische Darstellung der Aktionsströme des Muskels. Pflügers Archiv 63, 1893, S. 70.

56) Boruttau, Graphische Rheotomversuche. Pflügers Archiv 63, 1896.

57) Bose, Komparative Elektrophysiologie 1907. Longmanns, Green u. Comp.

58) Waller, Galvanométrie et galvanographie. 31. Aug. 1904. Travaux de l'Assoc. de l'Institut Marey. Paris Masson 1905.

59) Waller, Tier. Elektrizität. Leipzig 1899.

60) Waller, On the influence of reagents on the electr. excitability of isolated nerve. Brain 19, 1896, S. 289.

61) Tarchanoff, Über die graphische Darstellung der Schwankungen des Galvanometerzeigers auf photographischem Wege. Pflügers Archiv, Bd. 40, 1887.

62) Bernstein, Über die Latenzdauer der Muskelzuckung. Pflügers Archiv 67, 1897, S. 207.

63) Garten, Über ein neues Verfahren zur Verzeichnung von Bewegungsvorgängen und seine Anwendung auf den Volumenpuls. Pflügers Archiv 104, 1904, S. 351.

64) O. Frank, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung von Bewegungsvorgängen. Zeitschr. f. Biol. LII, 1901.

65) Burdon-Sanderson, Electrical response of muscle. Journ. of Physiol. XVIII, 1895.

66) Weiss und Joachim, Registrierung und Reproduktion menschlicher Herztöne und Geräusche. Pflügers Archiv 123, 1908.

67) O. Weiss, Über einige Einwände gegen die Verwendung von Füssigkeitslamellen zur Schallregistrierung. Pflügers Archiv, Bd. 127, Heft 1—3.

68) O. Weiss, Das Phonoskop. Zeitschr. f. biol. Methodik, Bd. 1, 1908.

69) May und Lindemann, Graphische Darstellung des Perkussionsschalles. Münchener med. Wochenchr. 1906, Nr. 17.

70) May und Lindemann, Graphische Studien über tympanitischen und nicht tympanitischen Perkussionsschall. Deutsch. Archiv f. klin. Mediz., Bd. 93, 1908.

71) Samojloff, Zur Vokalfrage. Pflügers Archiv 78, 1899, S. 1.

72) Garten, Über rhythmisch elektrische Vorgänge im quergestreiften Skelettmuskel. Sitzber. d. Königl. Sächs. Akad. d. Wissensch. 1900.

73) O. Frank, Konstruktion und Theorie eines neuen Tachographen. Zeitschr. f. Biol., Bd. 50.

74) O. Weiss, Die photographische Registrierung geflüsterter Vokale und der Konsonanten Sch und S. Physiol. Zentralbl. 14. Dez. 1907.

75) Marey, Le Mouvement. Paris, Masson 1894.

76) O. Frank, Benutzung des Prinzips der Pitotschen Röhrchen zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit. Zeitschr. f. Biol. XXXVII, 1899.

77) O. Frank, Kritik der elastischen Manometer. Zeitschr. f. Biol., Bd. 44. S. 453, 1903.

78) Bernstein, Phototelephonische Untersuchungen des zeitlichen Verlaufs elektrischer Ströme. Sitzber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. 1890. 1, S. 153.

79) Marey, Le mouvement. Paris, Masson 1894 und Compt. rend. 83, 1876, S. 975.

80) Burdon-Sanderson und Page, On the electrical phenomena of the excitatory process of the frog. Journ. of Physiol. IV, 1889.



81) **Burch**, On the time relations of the excursions of the capillary electrometer with a description of using it for the investigation of electrical changes of short duration. Phil. Transact. 183 A, 1892.

82) **Schenk**, Über den Einfluß der Spannung auf die negative Schwankung des Muskelstromes. Pflügers Archiv 63, 1896.

83) **Einthoven**, Über die Form des menschlichen Elektrokardiogramms. Pflügers Archiv 60, 1895.

84) **Einthoven**, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung der Ausschläge des **Lippmann**schen Kapillarelektrometers. Pflügers Archiv 79, 1900.

85) **Boruttau**, Die Aktionsströme und die Theorie der Nervenleitung. Pflügers Archiv 84, 1901, S. 309.

86) **Bernstein und Tschermak**, Über die Beziehungen der negativen Schwankungen des Muskelstromes zur Arbeitsleistung des Muskels. Pflügers Archiv 89, 1902, S. 289.

87) **Bernstein und Tschermak**, Über die Frage: Präexistenztheorie oder Alterationstheorie des Muskelstromes. Pflügers Archiv 103, 1904.

88) **Garten**, Über ein einfaches Verfahren zur Ausmessung der Kapillarelektrometerkurven. Pflügers Archiv 89, 1902.

89) **Einthoven**, Ein neues Galvanometer. Ann. d. Phys. IV, Folge 12, 1903, desgl. Bd. 14, 1904 und die späteren Abhandlungen in den Annalen und in Pflügers Archiv.

90) **Einthoven**, Die Registrierung der menschlichen Herztöne mittels des Saitengalvanometers. Pflügers Archiv 117, 1907.

91) **Boruttau**, Elektrophysiologische Neuigkeiten. Physiol. Zentralbl. 1908, S. 317.

92) **O. Frank**. Der Puls in den Arterien. Zeitschr. f. Biol., N. F. XXVIII, 1905.

93) **O. Frank**, Optischer Transmissionssphygmograph. Münchener med. Wochenschr., Nr. 42, 1908.

94) **J. Seemann**, Neue Aufnahmen der menschlichen Stimme. Zeitschr. f. biol. Techn. 1908, Bd. 1, S. 112.

95) **Samojloff**, Aktionsströme bei summierten Muskelzuckungen. Engelmanns Arch. 1908, Suppl. 1.

96) **v. Kries**, Über ein neues Verfahren zur quantitativen Beobachtung der Wellenbewegung des Blutes. Du Bois-Reymonds Archiv 1887, S. 279.

97) **R. Du Bois-Reymond**, Über die Aufzeichnung der negativen Schwankung mittels des Elektrokapillarelektrometers. Physiol. Zentralbl. XII, 1898, S. 145.

98) **Köhler**, Ein lichtstarkes Sammellinsensystem für Mikroprojektion. Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie, Bd. 19, 1901.

99) **Köhler**, Meßband zum Einstellen der Projektionsokulare. Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie, Bd. 18, 1901.

100) **Helmholtz**, Physiologische Optik, 2. Aufl., 1896.

101) **Cremer**, Eine photographische Registriervorrichtung. Sitzber. d. Gesellsch. f. Morpholog. u. Physiol. in München 1905.

102) **Samojloff**, Einige elektrophysiologische Versuche. Le Physiologiste Russe 1908, Bd. V, Nr. 86—90.

103) **Burch**, The capillary electrometer in Theory and Practice. London 1896. Reprinted from the electrician, London, Tucker 1896.

104) **Uexküll**, Vergleichende sinnesphysiologische Untersuchungen. Zeitschr. f. Biol. XXXIV, 1896, S. 321.

105) **Edelmann**, Über ein komplettes Instrumentarium zur Aufnahme von menschlichen Elektrokardiogrammen. Mitt. Nr. 5, Weihnachten 1908.



106) Hermann und Gildemeister, Eine Vorrichtung zur photographischen Registrierung. Pflügers Archiv 110, 1905, S. 88.

107) Cremer, Eine photographische Registriervorrichtung. Sitzber. d. Gesellsch. f. Morpholog. u. Physiol. in München 1905, Heft 1.

108) Straub, Ein neues Kymographion mit Antrieb durch Elektromotor. Pflügers Archiv 81, 1900, S. 579.

109) Kronecker, Ein Elektrokymographion. Zeitschr. f. Biol. XXIII, 1887.

110) Garten, Experimentelle Nachprüfung der Untersuchungen von Herrn Prof. Bernstein etc. Pflügers Archiv 105, 1904, S. 304 Anm.

111) R. Ohm, Beitrag zur photographischen Pulsregistr. Münchener Med. Wochenschr. Nr. 7, 1910.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe**, Strassburg; **Chr. Bohr**, Kopenhagen; **K. Bürker**, Tübingen; **W. Caspari**, Berlin; **J. R. Ewald**, Strassburg; **O. Fischer**, Leipzig; **O. Frank**, Giessen; **M. von Frey**, Würzburg; **S. Garten**, Leipzig; **A. Gullstrand**, Upsala; **F. B. Hofmann**, Innsbruck; **O. Langendorff**, Rostock; **R. Magnus**, Heidelberg; **L. Michaëlis**, Berlin; **W. Nagel**, Berlin; **C. Oppenheimer**, Berlin; **I. P. Pawlow**, St. Petersburg; **J. Poirot**, Helsingfors; **A. Pütter**, Göttingen; **M. Rubner**, Berlin; **K. Schäfer**, Berlin; **F. Schenck**, Marburg; **J. Steiner**, Köln; **W. Trendelenburg**, Freiburg in B.; **W. Wirth**, Leipzig; **N. Zuntz**, Berlin; und **H. Zwaardemaker**, Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt in Helsingfors.

Seit Cyon im Jahre 1876 seine „Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen" herausgab, ist keine ausführliche Bearbeitung der physiologischen Arbeitsmethoden erschienen, und dennoch hat die Physiologie während der seitdem verflossenen 30 Jahre nicht allein in bezug auf ihren Inhalt sondern auch hinsichtlich der von ihr benutzten experimentellen Methoden außerordentliche Fortschritte gemacht, indem teils die alten Versuchsweisen vielfach verbessert und erweitert, teils auch ganz neue Methoden dem Dienste des Forschers gestellt worden sind. Da die Beschreibung derselben in der gesamten biologischen Literatur zerstreut ist, begegnet es selbst demjenigen Forscher, der eine sehr reiche Bibliothek zu seiner Verfügung hat, nicht geringe Schwierigkeiten, sie zu finden und in genügendem Grade zu übersehen.

Es liegt also hier unzweifelhaft eine wesentliche Lücke vor, die das vorliegende Handbuch versucht, möglichst auszufüllen. Angesichts des sehr großen Umfanges der Aufgabe und da nur derjenige Forscher, der sich durch eigene wissenschaftliche Arbeit mit den zu besprechenden Methoden vertraut gemacht hat, wirklich befähigt ist, sie darzustellen, ist es dringend notwendig gewesen, eine weitgehende Teilung des Arbeitsgebietes durchzuführen.

Nachdem eine große Anzahl der erfahrensten Autoren sich bereit erklärt hatte, die einzelnen Kapitel eines Handbuches der physiologischen Methodik zu bearbeiten, hat sich die unterzeichnete Verlagsbuchhandlung entschlossen, das Werk herauszugeben.

Das Handbuch soll in drei Bänden, zu je drei Abteilungen ausgegeben werden. Die Verteilung des Stoffes ist aus dem nachstehenden Inhaltsverzeichnis ersichtlich. Kleinere Änderungen in der Reihenfolge bleiben vorbehalten.

Soeben ist vom **I. Bande** die **2. Abteilung** erschienen; die **2. und 3. Abteilung** des **II. Bandes** befinden sich im Druck.

Die übrigen Abteilungen werden möglichst schnell nachfolgen, so daß das ganze Werk etwa 1909 fertig vorliegen soll.

Leipzig, im April 1908.
Königstraße 2.

S. HIRZEL
Verlagsbuchhandlung.

Inhaltsverzeichnis

Erster Band



Zweiter Band

Erste Abteilung (Blut und Blutbewegung).

1.	Morphologie des Blutes. Hämoglobinbestimmung	**K. Bürker**
2.	Methodik der Antikörper-Forschung . .	**L. Michaëlis**
3.	Hämodynamik	**O. Frank**
4.	Blutgase. Respiratorischer Gaswechsel .	**Chr. Bohr**

Zweite Abteilung (Atmung, Verdauung).

1.	Atembewegungen	**F. Schenck**
2.	Methodologie der Enzymforschungen . .	**C. Oppenheimer**
3.	Die Bewegungen des Verdauungsrohres	**R. Magnus**
4.	Die Absonderung der Verdauungsdrüsen	**I. P. Pawlow**

Dritte Abteilung (Muskelphysiologie).

1.	Thermodynamik des Muskels	**K. Bürker**
2.	Allgemeine Muskelmechanik	**M. von Frey**
3.	Spezielle Bewegungslehre	**O. Fischer**
4.	Elektrophysiologie	**S. Garten**

Dritter Band

Erste Abteilung (Sinnenphysiologie I).

1.	Die sensorischen Funktionen der Haut	**M. von Frey**
2.	Geruch und Geschmack	**H. Zwaardemaker**
3.	Die nicht akustischen Funktionen des inneren Ohres	**J. R. Ewald**
4.	Die physiologische Akustik	**K. Schäfer**

Zweite Abteilung (Sinnenphysiologie II).

1.	Die Dioptrik des Auges	**A. Gullstrand**
2.	Die Augenbewegungen usw.	**F. B. Hofmann**
3.	Helligkeit und Farben	**W. Nagel**

Dritte Abteilung (Zentrales Nervensystem. Physiologische Sprachlaute).

1.	Das zentrale Nervensystem der kaltblütigen Wirbeltiere	**J. Steiner**
2.	Das zentrale Nervensystem der warmblütigen Tiere	**W. Trendelenburg**
3.	Psychophysik	**W. Wirth**
4.	Phonetik	**J. Poirot**

Druck von August Pries in Leipzig.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Strassburg; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** Giessen; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Leipzig; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Innsbruck; **O. Langendorff,** Rostock; **R. Magnus,** Heidelberg; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Berlin; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Göttingen; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenk,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Freiburg i. B.; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt

Erster Band

2. Abteilung

Protisten — Wirbellose Tiere — Physikalische Chemie

Mit 97 Figuren



Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1908

Inhaltsverzeichnis.

Dieses Blatt ist beim Einbinden des vollständigen Bandes zu entfernen.

Zweite Abteilung

Protisten — Wirbellose Tiere — Physikalische Chemie

I.

Methoden zur Erforschung des Lebens der Protisten

von

August Pütter in Göttingen.

(Mit 48 Figuren.)

Die Verwendung der Protisten als Objekte der physiologischen Forschung verdanken wir in erster Linie Verworn (1889), der in seinen psycho-physiologischen Protistenstudien den ersten systematischen Versuch machte, diese niedersten Lebensformen für die Entwicklung allgemein physiologischer Anschauungen nutzbar zu machen.

Die prinzipielle Berechtigung derartige Objekte zur Lösung allgemeiner Fragen heranzuziehen, dürfte heute kaum mehr in Abrede gestellt werden. In den Protisten haben wir einzelne frei lebende Zellen vor uns, die das Studium der Lebensprozesse direkt gestatten, während in den Vielzelligen durch die Vereinigung der Zellen zu Geweben eine Mannigfaltigkeit höherer Ordnung geschaffen wird.

Es wäre durchaus unberechtigt zu behaupten, daß der Lebensprozeß bei den Protisten einfacher abliefe, als in den Zellen irgend eines hoch differentiierten Gewebsorganismus, im Gegenteil muß man vom Standpunkte der allgemeinen Physiologie gerade betonen, daß uns das Studium der Protisten deshalb interessiert, weil sie, ebenso wie jede andere Form der lebendigen Substanz, alle allgemeinen Lebenserscheinungen zeigen. Ihr hoher Wert, bei der Bearbeitung allgemein physiologischer Fragen liegt vielmehr darin, daß uns hier die einzelne Zelle eine Fülle von Symptomen der Lebensvorgänge zeigt, die ohne weiteres dem Studium zugänglich sind. In erster Linie die Bewegungserscheinungen der Protisten sind so außerordentlich feine Indikatoren für die physiologischen Prozesse in der Zelle, wie sie bei Vielzelligen kaum durch Anwendung komplizierter Methoden an Zellkomplexen gewonnen werden können.

Die Feinheit und Zahl der Indikatoren aber, die uns ein lebendiges System zur Charakterisierung seines Zustandes bietet, ist ausschlaggebend dafür, ob das Objekt für unsere Forschungen brauchbar oder unbrauchbar ist.

In bezug auf die physikalischen Symptome der Lebensvorgänge dürften wohl kaum Objekte zu finden sein, die günstiger wären, als gerade die Protisten, weshalb ihr Studium auch gerade für die allgemeine Reizphysiologie von besonderer Bedeutung gewesen ist.

Der chemischen Untersuchung stellt sich oft der Materialmangel störend entgegen, so daß hier noch große Lücken auszufüllen sind.

Endlich gestaltet sich das Studium der allgemeinen Lebensbedingungen bei den Protisten meist wesentlich einfacher, als bei höheren Formen.

I. Die Objekte.

Einer scharfen Abgrenzung des Stammes der Protisten stehen erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Das Hauptcharakteristikum, die Einzelligkeit, läßt besonders bei der Abgrenzung der Protophyten gegen die höheren Algen im Stich und wir können hier die Grenze willkürlich an verschiedenen Stellen ziehen.

Für die physiologische Verwertung der Protisten, als Objekten der Zellularphysiologie ist der Umstand maßgebend, daß auch in jenen Fällen, wo Verbände mehrerer Zellen: Zellfäden, Zellplatten, auftreten, doch keine Differentiierung der einzelnen Elementarorganismen eintritt. Die Zellen solcher Zellverbände leisten anscheinend nichts erhebliches für den ganzen Verband, das Zusammenleben ist ein mehr zufälliges, durch das die physiologische Gleichwertigkeit der Zellen nicht aufgehoben wird.

Diese letztere ist das Hauptmoment, das allgemein physiologisch in Betracht kommt, wenn wir die Protisten als Forschungsobjekte verwerten wollen.

Dementsprechend werden wir die Conjugaten und Oscillariaceen noch in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen, obgleich die Zellen hier zu Zellfäden vereinigt sind. Auch die Zellkolonien der Protococcoideae, die Zellplatten von Scenedesmus, Pediastrum u. a., sowie die vielzelligen Volvoxkugeln können als Objekte herangezogen werden.

Die in ihrer systematischen Stellung nicht ganz klaren Myxomyceten (Mycetozoa) können im Plasmodienstadium gleichfalls als vielkernige Einzelzellen angesehen werden. Wohl müßten auch die Bakterien in den Kreis der physiologischen Objekte aus dem Protistenreich gezogen werden, aber die von der Physiologie völlig getrennte Entwicklung der Bakteriologie läßt es zweckmäßig erscheinen, von der Darstellung ihrer Verwertung im allgemeinen abzusehen.

Bei dieser Art der Abgrenzung kommen als Objekte einer Physiologie der Einzelligen die Vertreter folgender Gruppen in Betracht:

Stamm Protophyta.[1])

- I. Heterocontae:
  1. Chloromonadaceae
  2. Confervaceae
  3. Botrydiaceae
  4. Chlorotheciaceae.
- II. Acontae (Zygophyceae):
  - a) Conjugatae.
    1. Mesotaeniaceae
    2. Zygnemaceae
    3. Desmidiaceae.
  - b) Bacillariaceae.

III. Chlorophyceae:
a) Volvocales
b) Protococcales
c) Ulotrichales
d) Siphonocladiales
e) Siphonales.

Stamm Protozoa.[2])

I. Unterstamm: Plasmodroma, Doflein.
I. Klasse: Rhizopoda, v. Siebold.
I. Ordnung: Amoebina, Ehrenberg,
II. „ Heliozoa, Haeckel,
III. „ Radiolaria, Johannes Müller,
IV. „ Foraminifera, d'Orbigny,
V. „ Mycetozoa, de Bary.
II. Klasse: Magstigophora, Diesing.
I. Unterklasse: Flagellata, Cohn em. Bütschli.
I. Ordnung: Protomonadina, Blochmann,
II. „ Polymastigina, Bütschli u. Blochmann,
III. „ Euglenoidina, Klebs,
IV. „ Chromomonadina, Blochmann,
V. „ Phytomonadina, Blochmann.
II. Unterklasse: Dinoflagellata, Bütschli.
I. Ordnung: Adinida, Bergh,
II. „ Dinifera, Bergh.
III. Unterklasse: Cystoflagellata.
III. Klasse Sporozoa:
I. Unterklasse: Telosporidia, Schaudinn.
I. Ordnung: Cocidiomorpha, Doflein,
II. „ Gregarinidea, Aimé, Schneider u. Doflein.
II. Unterklasse: Neosporidia Schaudinn.
II. Unterstamm: Ciliophora Doflein.
I. Klasse: Ciliata.
I. Ordnung: Holotricha, Stein,
II. „ Heterotricha, Stein,
III. „ Oligotricha, Bütschli,
IV. „ Hypotricha, Stein,
V. „ Peritricha, Stein.
II. Klasse: Suctoria, Bütschli.

Die vierte große Klasse der Protozoa, die Sporozoën, sind bisher noch kaum für die physiologische Forschung nutzbar gemacht worden, obgleich sie z. B. in den Gregarinen aller Wahrscheinlichkeit nach Objekte bieten würde, die für die Bearbeitung mancherlei Fragen geeignet sein dürften.

Eine nutzbringende Verwertung des formenreichen Materials, das die Protisten bieten, setzt zunächst systematische Kenntnisse über diesen Tierstamm voraus. Nur bei genügendem Überblick über den Artenreichtum, der hier herrscht, werden sich immer geeignete Objekte für jede allgemeinphysiologische Frage finden.

Die grundlegende Darstellung unserer gesamten Kenntnisse über Protozoën enthält Bütschlis[3]) Bearbeitung in Bronns „Klassen und Ordnungen". Eine neuere umfassende Darstellung gibt Lang.[4])

Zur Orientierung über die Systematik dienen: Blochmann[5]) für Protozoën des Süßwassers, ebenso Mez,[6]) die beide gute Bestimmungstabellen enthalten, Rhumbler[7]) für die Reticulosa (Nuda und Foraminifera). Brandt[8]) für koloniebildende Radiolarien; Haeckel[9]) für die Gesamtheit der Radiolarien. Schaudinn[10]) für Heliozoa. Stein[11]) für Ciliate Infusorien. Für die Biologie und Systematik der Algen gibt Oltmanns[12]) alles erforderliche.

Die Materialgewinnung.

Die Beschaffung reichlicher Mengen verschiedener Protisten zum Zweck physiologischer Versuche ist nicht immer mit der wünschenswerten Sicherheit zu erreichen.

Der Mangel geeigneter Züchtungsmethoden macht sich hier sehr unangenehm fühlbar. Nur wo derartige Methoden entwickelt worden sind, was besonders bei dem Studium der Algen jetzt durchgängig der Fall ist, wird man von den groben Zufälligkeiten der Gewinnung des Protistenmaterials unabhängig. Auf die Züchtungsmethoden wollen wir noch besonders eingehen, hier aber zunächst die Gewinnung des Rohmaterials besprechen.

Stets leicht und in Mengen zu haben sind die Oscillarien (Cyanophyceae), die in fast jedem Grabenwasser enthalten und sehr anspruchslos sind. In bedeckten flachen Glasschalen kann man sie, ohne irgend welche besondere Maßnahmen, unbegrenzt im Laboratorium halten. Alte Gläser voll Graben- oder Teichwasser, die sonst außer Bakterien nichts lebendes mehr enthalten, beherbergen fast stets die spangrünen Watten der Oscillarien.

Auch unter den Conjugaten haben wir Formen, die leicht in beliebiger Menge zu haben sind, besonders Spirogyra oder Cladophora, die in Tümpeln und Teichen oft in gewaltigen Paketen treiben, auch meist aus den Wasserbehältern der Gewächshäuser in botanischen Gärten zu bekommen sind.

Beim Studium der Chlorophyceen ist man schon mehr auf gutes Glück angewiesen, denn Pediastrum und Scenedesmus findet man selten in großen Massen und auch Volvox nicht gerade häufig, doch kann man bei einigem Suchen meist mit Sicherheit auf die letztere Form in genügender Menge rechnen.[13]) Steht ein Seewasseraquarium zur Verfügung, so ist z. B. Caulerpa leicht vorrätig zu halten.

So verbreitet auch die Diatomeen in jedem Grabenwasser sind, findet man sie doch kaum in solchen Mengen, daß ein Experimentieren leicht wäre, und beim Fange der sehr empfindlichen Plasmodien der Myxomyceten erlebt man vollends viele Enttäuschungen. In feuchter Jahreszeit ist auf dem faulenden Laub am Boden der Buchenwälder die Aussicht auf Auffinden dieser interessanten Wesen am größten.

Zum Studium der Amöben kann man gleichfalls die Objekte in Grabenwasser [z. B. Pelomyxa palustris Fig. 1] oder faulenden Infusen finden, doch führt hier eine andere Methode rascher zum Ziel. Im Enddarm der Küchenschabe (Periplaneta orientalis) lebt die sehr bewegliche Amöba blattae, ein für viele Versuche sehr brauchbares Objekt (s. Rhumbler). Man erhält

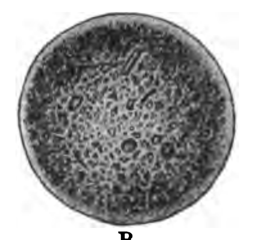
sie leicht in einer Aufschwemmung des schwarzen Enddarminhaltes mit physiologischer Kochsalzlösung, doch müssen die Schaben frisch gefangen sein, da sie bei längerer (auch nur einen Tag) dauernder Gefangenschaft den Enddarminhalt entleeren und dann keine Amöben mehr zu finden sind.

Eine kleine Limaxeform der Amöben erhält man sehr leicht in Massen, wenn man Heu- oder Strohinfuse einige Tage faulen läßt. Man legt ein Deckglas eine Weile auf das hauptsächlich von Bakterienzoogloen gebildete Oberflächenhäutchen und spült es dann vorsichtigt ab. Die Amöben haben sich am Deckglase festgesetzt und werden nicht mit abgespült. Diese Methode liefert in den meisten Fällen, doch nicht ausnahmslos derartige kleine Amöben, die aber im weiteren Verlauf der Fäulnis aus den Infusen verschwinden.

Von anderen Vertretern der Lobosa sind Arcella und Difflugia leicht in Gräben und Tümpeln zu erhalten und vermehren sich zuweilen in den Glasschalen, die ihnen im Laboratorium zum Aufenthalt dienen, stark.



A.



B.

Fig. 1. Pelomyxa palustris. A. ungereizt kriechend; B. gereizt kontrahiert. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Das prächtige Objekt, das die Heliozoen in Actinosphärium Eichhorni bieten, ist in manchen Gegenden häufig, auf sehr kalkreichem Boden dagegen selten. Die Tiere sind so groß, daß man sie bequem mit bloßem Auge diagnostizieren und mit einer Glasröhre einzeln herausfangen kann.

Die Thalamophoren sind für den am Meere experimentierenden Biologen ein leicht zu beschaffendes Material, so die prächtige Form Orbitolites (s. Fig. 2), halten sich aber auch in Seewasseraquarien lange. Die Verwendung der Radiolarien als Objekte ist gleichfalls auf marine Stationen beschränkt. Hier tritt Collozoum und Sphärozoum zu manchen Zeiten in Masse im Plankton auf. Von den Flagellaten kann man Englena viridis oft in unermeßlichen Mengen haben, die schmutzigsten Ententümpel der Dörfer bieten hier reichste Ausbeute. Als Planktonwesen tritt Peridinium oft massenhaft auf, und am Meer ist Noctiluca (s. Fig. 3) oft in beliebiger Menge zu haben. Von den Ciliaten Infusorien kann man drei Arten immer haben: Paramaecium (s. Fig. 4), Colpidium (s. Fig. 15) und Opalina. Paramaecium und Colpidium sind sicher die am leichtesten zu handhabenden Objekte unter den Protisten. Jede Handvoll Heu, Stroh oder Kopfsalat, die man mit Brunnen- oder Leitungswasser übergossen im vor Staub geschützten Gefäß faulen läßt, liefert mit Sicherheit Unmengen von Colpidien, und meist treten etwas später auch Paramaecien auf. Sollten die letzteren fehlen, so genügt eine Impfung mit einer geringen Anzahl Paramaecien, wie sie von natürlichen Standorten, Gräben und Tümpeln leicht zu haben sind, um große

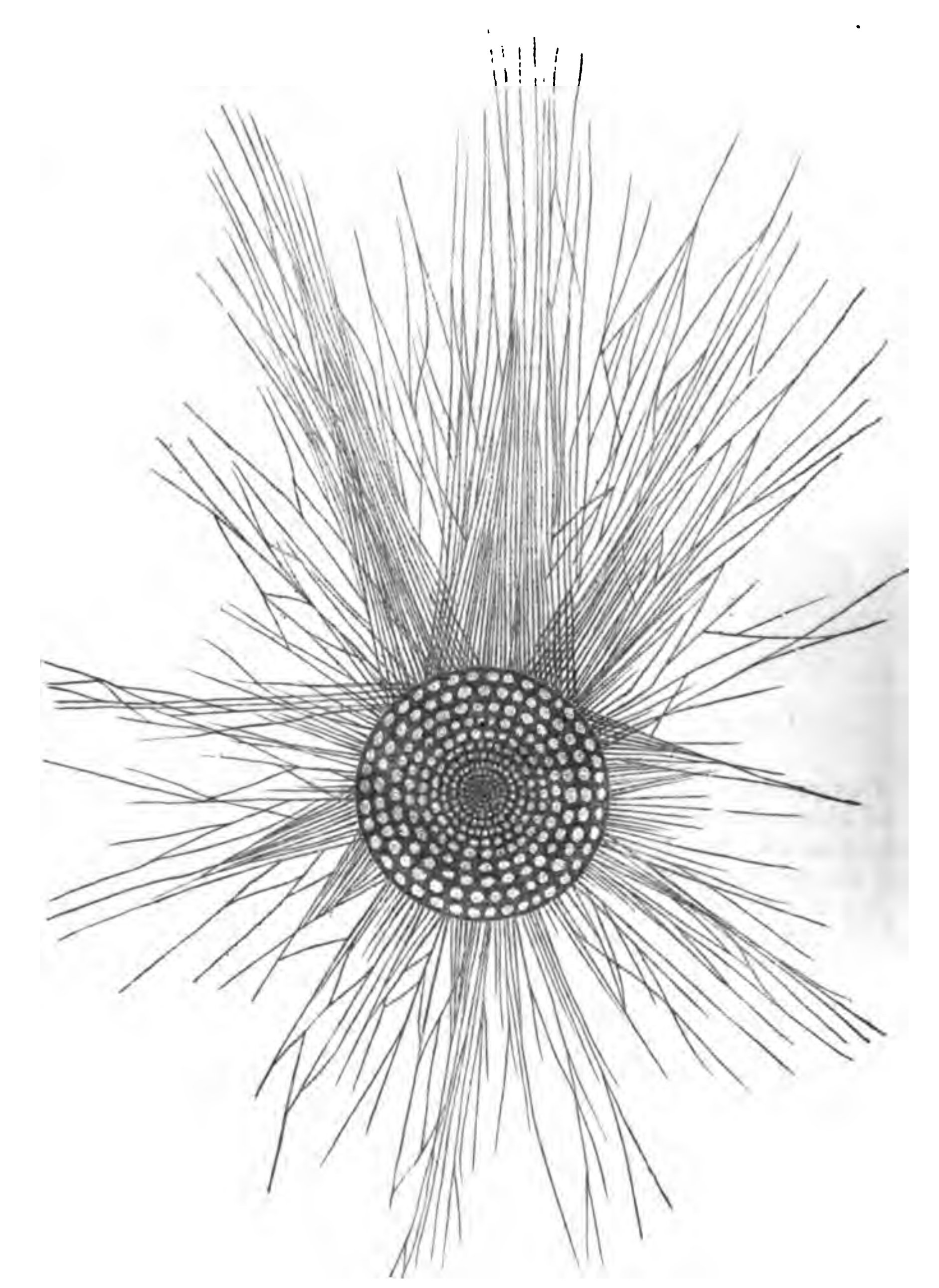


Fig. 2. Orbitolites complanatus, polythalame Foraminifere.
(Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Mengen zu erzielen. Man hält sich die Paramaecien und Colpidienkulturen zweckmäßig stets vorrätig, indem man etwa alle 4 bis 6 Wochen einmal ein

neues Kulturglas aufstellt und nachdem in ca. 3—5 Tagen eine genügende Entwicklung von Bakterien stattgefunden hat, etwas paramaecienhaltige Flüssigkeit hinzufügt. Entnimmt man aus einem Kulturglase auf einmal ein größeres Quantum Flüssigkeit um große Mengen Tiere zu erhalten, so ist es zweckmäßig, den Verlust durch Wasser zu ersetzen. Zwei oder drei Tage nach solcher Auffrischung ist die Kultur wieder stark genug um einen gleichen Aderlaß zu vertragen. Manche Kulturen vertragen einen solchen Abbau fast unbegrenzt, andere gehen dabei bald ein.

Mitunter verderben Heuinfuse oder liefern von Anfang an keine Ciliaten Infusorien, man sieht dies mit Sicherheit daran, daß die Aufgußflüssigkeit, die normalerweise eine hell- bis dunkelgelbe Farbe hat, schmutziggrün erscheint, aus solchen Kulturen wird nie mehr etwas, auch sehr starke Schimmelpilzentwicklung auf der Oberfläche ist meist ein ungünstiges Zeichen.

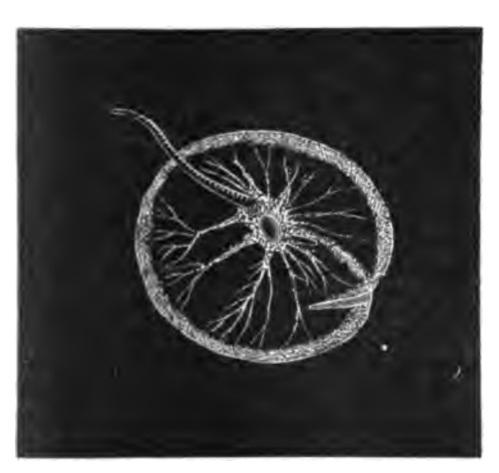


Fig. 3. Noctiluca miliaris. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

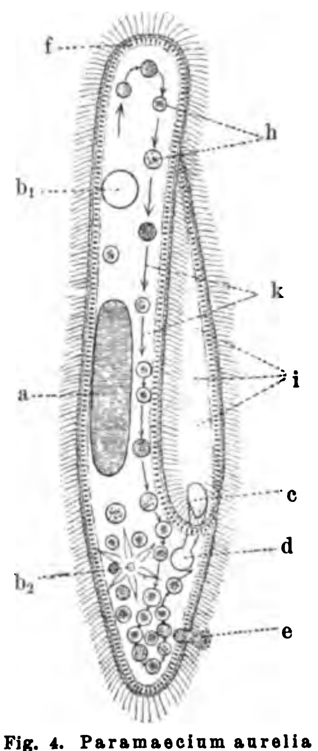


Fig. 4. Paramaecium aurelia (Holotriches Infusor). a. Macronucleus, b_1 u. b_2 Systoletten (contractile Vacuolen), c. Zellmund (Cytostom), d. Cytopharynx (Zellschlund), e. Zellafter (Cytoproct), f. Trichocysten.

Auch die reichsten Kulturen von Paramaecium zeigen nach einer gewissen Zeit Erscheinungen der „Depression“. Calkins[14]) hat etwa alle 3 Monate derartige Zustände auftreten sehen, in denen die meisten Tiere sterben. Durch geeignete Maßnahmen lassen sich derartige Kulturen wieder auffrischen.

Statkewitsch[15]) empfiehlt vier Mittel hierzu:

1. Die sukzessive Durchspülung: Durch einen geeigneten Heber läßt man die Kulturflüssigkeit ganz langsam abfließen, während gleichzeitig aus einem Trichter mit Kautschukrohr eine der abfließenden gleiche Wassermenge zutropft. Zu- und Abfluß werden durch Anlegen von Klemmen derart reguliert, daß der Wasserstand im Glase immer derselbe bleibt. Um ein Glas von

15 cm Höhe und 6 cm Durchmesser zu durchspülen braucht man 1 bis 2 Stunden.

2. Einfaches Umrühren der Kultur.

3. Neutralisation mit Natriumkarbonat: Sobald die oberflächlichen Schichten deutlich sauer geworden sind, tritt stets eine Depression in der Vermehrung der Tiere ein, die durch Neutralisation gehoben werden kann.

4. Endlich wirkt ein Zusatz geringer Mengen von gepulvertem Calciumphosphat sehr günstig auf die Belebung der Kulturen.

Auch für die Kultur von Stentor liegen einige Angaben vor. Peters[16]) fand, daß bei der Aufzucht dieses Ciliaten auf Sauerstoffversorgung kein besonderer Wert gelegt zu werden braucht, daß aber zu starke Fäulnis, die mit erheblicher Säuerung verbunden ist, unbedingt vermieden werden muß. Daher ist ein Heuinfus nicht geeignet, in dem zu viel Säure gebildet wird, besser ist eine Abkochung von Blättern oder Schilf, die mit Paramaecien, Englenen u. a. geimpft wird, die dem Stentor als Nahrung dienen.

Die Zunahme der Säuerung einer solchen Kultur wurde mit n/100 Lösungen titrimetrisch verfolgt. Es wird die Säuremenge in 5 ccm bestimmt unter Benutzung von Phenolphtaleïn als Indikator. Werden auf dieses Volumen ca. 0,7 ccm n/100 NaOH verbraucht, wie dies im Heuinfus, dessen Säuregehalt rasch steigt, schon am 3. Tage der Fall ist, so ist die Reaktion für Stentor bereits zu sauer. Außerdem müssen der Kultur Salze zugefügt werden. Es ergab sich folgende Mischung als günstig; auf 100000 Teile kommen:

$CaCl_2$	55	Mol
$NaNO_3$	15	„
$MgSO_4$	15	„
K_2HPO_4	15	„

also 100 Mol im ganzen, doch kann man die Salzmenge auch auf 200 bis 300 Mol steigern. Es wurden Gefäße von 4000 ccm Inhalt verwendet.

Anders ist die Gewinnung von Opalina ranarum. Dieses holotriche Infusor (?) ist ein fast ständiger Bewohner des Rektums des Frosches, ein Fundort, an dem sich außerdem auch nicht selten Balantidium entozoon und häufig Nycthoterus cordiformis vorfindet. Die Technik der Gewinnung ist derart, daß man das herausgenommene Rektum aufschlitzt und den meist ziemlich konsistenten Kotballen, den es enthält, herausrollt, so daß die Schleimhaut möglichst frei von Resten des Darminhaltes wird, was gewöhnlich leicht gelingt. Die Parasiten sitzen nicht in dem Kotballen, sondern in der Schleimschicht, die zwischen diesem und dem Epithel des Rektum liegt. Das möglichst saubere Rektum wird in einer Salzlösung bestimmter Zusammensetzung (s. u.) abgeschwenkt, wodurch man rasch alle Tiere erhält. Als Salzlösung eignet sich physiologische Kochsalzlösung nur, wenn man ganz kurz dauernde Versuche z. B. über Galvanotaxis beabsichtigt, für alle länger dauernden nimmt man zweckmäßig eine Lösung, die etwa folgende als gut erprobte Zusammensetzung hat:

0,8 proz. NaCl	100,0 ccm
Seignettesalz 30proz. Lösung	5,0 ccm
Aq. dest.	ad 400.0.

Man darf die Opalinen nicht längere Zeit, bevor man sie zum Versuch verwendet, im Uhrschälchen stehen lassen, da der Sauerstoff der Luft

schädlich auf sie einwirkt. Diese selbe Vorsichtsmaßregel ist bei Spirostomum ambiguum und wahrscheinlich auch bei Bursaria truncatella notwendig.

R. Hertwig züchtet Dileptus und Actinosphaerium unter Fütterung mit Stentor coeruleus und erhält außerdem Unterschiede im Verhalten der Tiere durch Züchtung bei verschiedenen Temperaturen, deren drei verwendet werden: Kaltkulturen bei der Temperatur der Münchener Wasserleitung ca. 8°, Zimmertemperatur und Thermostatentemperatur von 25° C.

Der zur Fütterung notwendige Stentor coeruleus ist häufig in Massen zu finden und in Kultur zu halten (s. o.).

In bezug auf die Erlangung aller anderen Ciliaten Infusorien ist man mehr oder oder weniger auf den Zufall angewiesen. Am leichtesten sind noch Vorticellen zu bekommen. Sie bedecken als weißliche Überzüge oft Stücke faulenden Holzes im Wasser und sind bei einiger Übung mit bloßem Auge leicht zu erkennen. Unterscheidung von Pilzüberzügen und anderen Dingen ermöglicht das deutlich sichtbare Zusammenzucken der Vorticellen auf mechanische Reizung und die folgende langsame Streckung. Auch auf Entomostraken, besonders Cyclopsarten und auf Gammarus wachsen häufig Vorticellinen in großen Mengen, besonders Zoothamnien (diese zucken auf Erschütterungen nicht zusammen). Die wegen ihrer hochdifferentierten Bewegungsorganellen besonders interessanten Hypotrichen, findet man manchmal reichlich in den Heuinfusen von Paramaecium z. B. Stylonychia (s. Fig. 27), Oxytricha (s. Fig. 5).

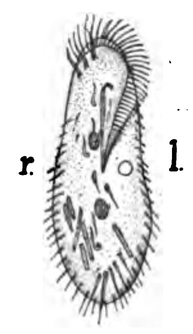


Fig. 5. Oxytricha fallax. Ein Hypotriches Infusor. (Nach Jennings.)

Wer mit Ciliaten Infusorien und überhaupt mit Protisten arbeiten will, darf sich die Mühe nicht verdrießen lassen, und alle Gräben und Tümpel seiner näheren Umgebung auf Objekte absuchen. Man lernt sehr bald die Stellen kennen, die gute Ausbeute liefern.

Die Reinzüchtung der Protisten.

Die methodische Reinzüchtung von Protisten, entsprechend der bakteriologischen Methodik der Reinkulturen, steckt noch vollständig in ihren Anfängen, und fast nur in bezug auf die Algen liegen bereits gute Resultate vor. Nur hier sind auch rein gezüchtete Objekte der physiologischen Forschung nutzbar gemacht worden.

Von Protozoën sind bisher nur Paramaecien und einige Amöben gezüchtet worden, und auch hier ist es nicht möglich Reinkulturen zu erhalten, sondern im günstigsten Falle sind Mischkulturen zu erzielen, die außer der Amöbe oder den Paramaecium noch eine Bakterienspezies enthalten.

Seit Beijerinck (1890)[17]) die ersten Reinkulturen mit Algen machte, sind viele Forscher seinem Beispiel gefolgt; hier sollen nur einige der wichtigsten Angaben Platz finden. Tischutkin[18]) benutzt 1 Proz. Agar Agar in gewöhnlichem Brunnenwasser ohne irgend welche Beigabe. Die größeren Algen werden in sterilem Wasser abgewaschen, mit steriler Schere zerschnitten und Teile auf den Nährboden geimpft. Den ersten Erfolg sieht man schon nach wenigen Tagen. Bei dieser Art der Kultur wachsen be-

sonders gut die Palmellaceae, Desmidiaceae und Diatomaceae, auch Oscillarien wurden gezüchtet.

Richter[19]), der sich besonders mit der Reinzucht von Diatomeen beschäftigte, gibt folgendes Verfahren an:

10 g Agar Agar werden 2 bis 3 Tage in fließendem Leitungswasser gewaschen, dann einen Tag in mehrfach gewechseltem, destilliertem Wasser abgespült und bei 100° in dest. Wasser gelöst, filtriert und das Filtrat auf 1 l mit dest. Wasser ergänzt. Dazu kommen folgende Salze:

0,2 g KNO_3
0,2 g K_2HPO_4
0,2 g $MgSO_4$
0,2 g $CaSO_4$
und Spuren $FeSO_4$.

Auch auf Gelatine gelingen Reinkulturen, bei denen der Zusatz des Kaliumnitrats unterbleiben kann. Die Trennung der Diatomeen von anderen Organismen geschieht durch Agar Agar Kulturen, alle allgemeinen Manipulationen sind dieselben wie in der bakteriologischen Technik. Gezüchtet und zu physiologischen Untersuchungen verwendet wurden Nitschia palea und Navicula minuscula.

In sehr einfacher Weise gelang es Zumstein[20]) bei Euglena gracilis zu Reinkulturen zu gelangen. Diese Form entwickelt sich vortrefflich in steriler, organischer Nährlösung z. B. Erbsenwasser, dem 2 Proz. Zitronensäure zugesetzt sind. Der Säurezusatz verhindert Bakterienentwicklung fast völlig und bei wiederholter Anwendung der Methode gelangt man bald zu völlig bakterienfreien Kulturen.

Für die Züchtung der Amöben gibt Beyerinck[21]) mehrfache Anweisungen, doch betont er besonders, daß es ihm nicht möglich gewesen sei, Reinkulturen zu bekommen, denn die Amöben ernähren sich anscheinend ausschließlich mit geformter Nahrung. Mit Bakterien zusammen lassen sie sich in der verschiedensten Weise züchten. Zwei Formen: Amöba nitrophila und A. zymophila lassen sich mit Nitrobakterien, Hefen- und Essigbakterien zusammen auf verschiedenen Nährböden ziehen.

Einen sehr guten Nährboden für Amöben fand Beyerinck[22]) ferner bei Züchtung von Azotobakter. Auf einem Nährboden, der aus 2 Teilen Mannit, 2 Teilen Agar und 0,02 Teilen K_2HPO_4 auf 100 Teile Wasser besteht, wächst Azotobakter üppig und oft treten in großer Menge daneben Amöben auf, die von Azotobakter leben und große Verheerungen in seinen Beständen anrichten. Sie überziehen als Schleier die Platte und können als Ausgangsmaterial für kombinierte Züchtung mit anderen Bakterien usw. benutzt werden.

Zaubitzer[23]) fand die Somatose als sehr geeignet zur Begünstigung des Amöbenwachstums auf festen Nährböden bei geringer Bakterienentwicklung. Doch scheinen sich die hohen Konzentratinnen (2,5 Proz.), die der Autor vorschlägt, nicht bewährt zu haben, und Gottstein[24]) empfiehlt daher folgenden Nährboden:

1 Proz. Agar in 0,6 Proz. Kochsalzlösung gekocht und zu je 10 ccm Agar 1 ccm einer 1proz. Somatoselösung.

Henri Mouton[25]) züchtete Amöben auf einer nährstoffarmen 2proz. Ge-

latine und erhielt sie zwar nicht rein, doch überwucherten die Amöben die gleichzeitig auftretenden Bakterien. Es gelang die Amöben, die mit allerlei Bakterien zusammen auftraten, mit nur einer Spezies vereinigt zu züchten, und zwar wurde meist Bacterium coli commune mitgezüchtet, doch konnten auch andere Formen verwendet werden.

Tsujitani[26]) gibt einige Anweisungen, nach denen auf Agar Platten Infusorien neben Bakterien und Amöben gezüchtet werden könnten. Sein Nährboden besteht aus 20 Teilen Strohdekokt, 50 Teilen Bouillon, 5 Teilen Agar auf 1000. Den Nährboden läßt er im Reagensglase schräg erstarren und macht auf der Oberfläche ein System verzweigter Ritzen, in denen sich das Kondensationswasser ansammelt und in denen sich Infusorien und Amöben entwickeln.

In einer größeren Untersuchung, die auch die früheren Bestrebungen auf diesem Gebiete eingehend würdigt, hat Vahlkampf[27]) die Methoden zur Züchtung von Amöba limax entwickelt.

Das Rohmaterial wurde aus einem Strohinfus (nicht Heu, das zu viele verschiedenartige Sporen enthält) gewonnen. Das Stroh wird häckselartig zerkleinert, und sobald sich auf der Oberfläche des Infuses eine Kahmhaut gebildet hat, d. h. etwa vom dritten Tage an, kann man erwarten Amöben zu finden, besonders wenn man Strohstückchen auf einem Deckglase abstreicht.

Als brauchbare feste Nährböden zur Isolierung der Amöben mit einer Bakterienart gibt Vahlkampf an: 1,5 Proz. Agar oder 10 Proz. Gelatine ohne jeden Zusatz, oder mit Nährstoff Heyden 1—2 Proz., Nutrose, Somatose oder Witte Pepton 1—2 Proz., auch eignet sich als Nährboden eine 5proz. Gallerte von Fucus crispus oder ein Stärkekleister, der etwa die Konsistenz des Agar hat.

Die Reaktion wird am besten neutral oder schwach alkalisch gehalten. Eine Züchtung der Amöben ohne Bakterien ist auch hier nicht gelungen.

II. Allgemeine Methoden.

Eine Reihe von Manipulationen erweist sich so häufig zur Erforschung des Lebens der Protisten notwendig, daß wir sie hier zusammenhängend behandeln wollen.

Das Reinigen der Objekte: Die Versuchstiere, die in größerer Menge zu haben sind: Paramaecium und Colpidium, erhält man stets in stark verunreinigtem Wasser, so daß dem Gebrauch vielfach eine Reinigung vorhergehen muß. Ist die Kultur sehr dicht bevölkert, so genügt es, eine ca. 1,5—2,0 m lange weite Glasröhre etwa zur Hälfte mit der Kulturflüssigkeit und dann ganz mit Leitungswasser zu füllen und senkrecht aufzustellen. Im Laufe von 3 bis 4 Stunden hat sich die Hauptmasse der Paramaecien, da sie negativ geotaktisch sind, am oberen Ende der Röhre angesammelt, die Colpidien brauchen meist etwas länger. Hierdurch hat man die Bakterien fast und alle groben Verunreinigungen völlig abgetrennt. Nur ist auf eins zu achten: das Kulturwasser und das darauf gegossene Leitungswasser setzen sich in der Röhre oft sehr scharf gegeneinander ab und dann kann es

vorkommen, daß an dieser Grenze die negativ geotaktische Ansammlung erfolgt. Man tut daher gut durch leichtes Hin- und Herneigen der Röhre die Grenze der beiden Flüssigkeiten zu verwischen.

Braucht man nur wenige Tiere, so kann man den Versuch auch im Reagensglase machen und hat dann schon nach höchstens einer Stunde die leidlich gereinigten Objekte.

Sind die Kulturen nicht sehr reich an Tieren, so empfiehlt es sich, bevor man durch Geotaxis reinigt eine Anreicherung der Tiere vorzunehmen. Mit einer kleinen Handzentrifuge schleudert man im Laufe von einer halben Minute alle Paramaecien oder Colpidien in das verjüngte Ende des Zentrifugenröhrchens und gießt dann rascht die oberhalb desselben befindliche Flüssigkeit ab, wobei kaum ein Tier verloren geht. Hat man, je nach der Bevölkerungsdichte der Kultur, 5- oder 10mal den Inhalt eines Röhrchens ausgeschleudert, so spült man die Paramaecien, die als dicker weißer Pfropf im verjüngten Ende sitzen, heraus und kann sie nun durch einmaliges Aufsteigenlassen in der Röhre von den Zentrifugenpartikeln und anderen groben Verunreinigungen trennen, die mit abzentrifugiert wurden.

Bei häufigem langdauerndem Zentrifugieren mit großer Geschwindigkeit (z. B. im Hämatokrit zur Volumbestimmung) werden die Tiere leicht geschädigt und man sieht oft im Laufe der nächsten Stunden viele absterben. Das schwache Zentrifugieren, das zur Reinigung ausreicht, darf als völlig unschädlich angesehen werden.

Auswaschen: Ist es für besondere Zwecke erwünscht die Tiere nicht in Leitungs-, Brunnen- oder Regenwasser zu haben, so kann man sie auch — jedenfalls die Paramaecien und Colpidien — ohne weiteres in destilliertes Wasser bringen. Es empfiehlt sich hierbei so vorzugehen, daß man die Tiere zunächst durch Geotaxis anreichert, wobei dem Kulturwasser in der beschriebenen Weise Aqua dest. zugefügt wird. Die derart an Wasser von halbem osmotischen Druck gewöhnten Tiere lassen sich durch Abzentrifugieren in einem sehr kleinen Volumen vereinigen und dann in der notwendigen Menge destillierten Wassers verteilen. Irgend welche Schädigungen treten dabei nicht auf. Auch die zarten und gegen manche Eingriffe so hinfälligen Spirostomen halten die Übertragung in Aqua dest. sehr gut aus, nur muß man dasselbe vorher ausgekocht haben, damit es nicht zu viel Sauerstoff enthält (s. u.). Lange kann man dann allerdings die Tiere nur unter Beachtung besonderer Kautelen erhalten.

Das Zählen der Objekte: Bei vielen Versuchen, bei denen man mit großen Massen von Protozoën arbeitet, besonders also mit Paramaecium und Colpidium, ist es wesentlich, die Zahl der Objekte zu kennen. Man improvisiert hierzu eine Blutkörperchen-Zählvorrichtung. Die angereicherten und gereinigten Tiere werden in einer gemessenen Wassermenge durch Umschütteln gut verteilt und hiervon 1 ccm abgenommen, der auf einem Objektträger sich als großer Tropfen ausbreiten läßt. Durch Zusatz von etwas Säure oder Jodkalium tötet man die Tiere ab, und bedeckt nun den Tropfen mit einem zweiten Objektträger, auf dem man sich eine Teilung in Quadrate eingeritzt hat. Sie braucht nicht genau zu sein, da man doch die Zahl aller Tiere bestimmt, die in dem (halben oder) ganzen ccm enthalten sind, indem man Viereck für Viereck auszählt. Da es keinerlei Schwierigkeiten macht

ca. 100 Tiere zu zählen (eine Lupe genügt als optisches Hilfsmittel, bei einiger Übung zählt man ebensogut mit bloßem Auge), so ist die Methode praktisch wenn man nicht mehr als ca. 50000 Tiere in 250 ccm hat, was meist der Fall sein wird, anderenfalls stellt man sich entsprechende Verdünnungen her. Durch Zentrifugieren kann man das Wasservolumen, das die Tiere enthält wieder beliebig verringern.

Volumetrie: Zur ungefähren Orientierung über das Volumen eines Protisten genügt die Messung in den drei Dimensionen und Berechnung des Inhaltes unter Berücksichtigung der speziellen Formverhältnisse. Solche Berechnungen geben schon ganz gute Werte (Jensen). Genauer ist wohl die Methode, die an die Volumbestimmung der roten Blutkörperchen anknüpft, die Bestimmung vermittelst des Haematokrit. Eine größere Menge (ca. 50000 genügen) gut gereinigter Paramaecien wird bis zur Volumenkonstanz im Haematokrit zentrifugiert, das Volumen abgelesen, die Tiere in einer bestimmten Wassermenge aufgeschwemmt und die Zahl, wie oben angegeben, bestimmt. Da das Volumen mit dem Ernährungszustande ziemlich schwankt, so muß zu vielen Zwecken diese Bestimmung jedem Versuche vorangehen. Eine Schädigung scheinen die meisten Tiere durch das Zentrifugieren im Haematikrit nicht zu erleiden (Barratt), doch sterben oft in den nächsten Stunden nach dieser Behandlung ein nicht zu vernachlässigender Prozentsatz ab.

Um das Gewicht der Tiere kennen zu lernen fehlt nach Bestimmung des Volumens nur noch das

Spezifische Gewicht. Jensen[28]) verwandte hierfür die Methode der Suspension der Tiere in Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischem Gewicht. Die Lösung, in der die Tiere gerade nicht mehr untersanken, gab das gesuchte spez. Gewicht an. Zur Verwendung kamen Lösungen von Kaliumkarbonicum, die außer Schrumpfungen nur geringe Veränderungen im Plasma der Paramaecien hervorriefen. Das spez. Gewicht ergab sich zu 1,25.

Beobachtungen am lebenden Objekt.

Eine der wichtigsten Methoden zur Erforschung des Lebens der Protisten ist die einfache Beobachtung der lebenden Objekte, die ganz ohne besonders experimentelle Hilfsmittel schon mancherlei physiologisch Interessantes lehrt.

Sollen nur schwache Vergrößerungen angewandt, z. B. Tiere direkt im Aquarium beobachtet werden, so genügt das Horizontalmikroskop.

Für die meisten Zwecke ist es aber wünschenswert, die Objekte auf den Objekttisch bringen und bei stärkerer Vergrößerung betrachten zu können.

Soll sich die Untersuchung nur auf kurze Zeit erstrecken, so kann man im hängenden Tropfen beobachten, der eventuell auf einem heizbaren Objekttisch anzubringen ist, wie ihn Fig. 6 in einer sehr einfachen und zweckmässigen Form zeigt.

Für länger währende Versuche, besonders Züchtungen ganzer Generationskreise eignen sich sehr gut sog. Mikroaquarien, wie sie z. B. von Cori und von Schaudinn angegeben sind. Schaudinn[29]) benutzt hierzu einen Objektträger, in den mit der Schmirgelscheibe ein viereckiger Einschnitt geschliffen ist, der bis zur Mitte reicht. Auf die beiden Flächen wird mit

kochendem, schnell erhärtendem Kanadabalsam je ein großes Deckglas aufgekittet, außerdem seitwärts schmale Glasstreifen zum Schutz. Für die meisten Süßwasserprotozoën genügt eine Fläche von 1 qcm bei 3 mm dickem Objektträger. Zur reichlichen Versorgung mit Sauerstoff kann man Algenfäden in das Aquarium legen, oder mittels eines Wollfadens, der aus einem höher stehenden Gefäß mit frischem Wasser hineinhängt, eine Durchspülung einrichten.

Die Mikroaquarien werden in feuchter Kammer aufbewahrt, am besten in Einschnitten eines kubischen Holzblockes.

Ist es für die Beobachtung am lebenden Objekt nötig nur ein einziges Exemplar im Präparat zu haben, so gelingt diese Isolierung leicht, indem man eine kapillar ausgezogene Glasröhre als Pipette benutzt und unter dem Mikroskop die gewünschte Form in das Röhrchen aufsaugt, was bei einiger Übung gar keine Schwierigkeit macht.

Für alle Beobachtungen an lebenden Ciliaten Infusorien liegt eine Hauptschwierigkeit in den raschen Bewegungen, die die Mehrzahl ausführt, und

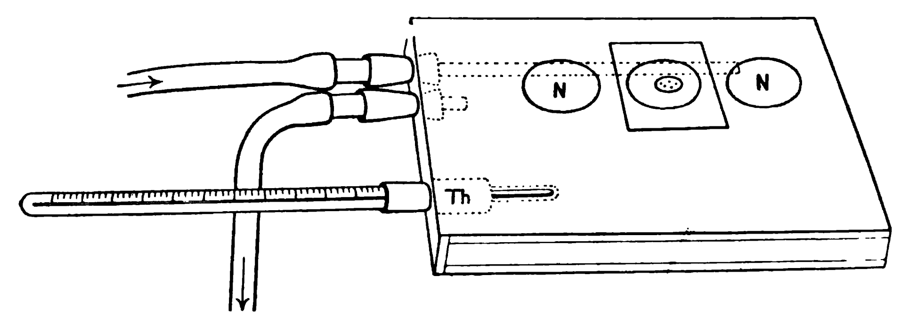


Fig. 6. Heizbarer Objekttisch für Beobachtung im hängenden Tropfen. (Aus Verworn, Physiologisches Praktikum.)

so hat man sich schon lange bemüht, auf eine Weise, die die Tiere nicht schädigt, eine Verlangsamung der Bewegungen zu erreichen. Nach Stahls Vorgang empfahl Jensen[30]) hierfür eine 3proz. Gelatine, die man derart mit Infusionsflüssigkeit mischt, daß die Mischung etwa 1 Proz. Gelatine enthält. Auch Ludloff[31]) bediente sich derselben Methode, doch gehört eine ziemliche Übung dazu, stets die richtige Konzentration zu treffen, oft ist ein Präparat nicht brauchbar, weil die Gelatine zu steif oder zu flüssig ist.

Um diesen Übelständen abzuhelfen hat Statkewitsch[32]) eine Reihe von Stoffen angewandt, die sich unter Schleimbildung kolloidal lösen, z. B. Alga Caragaheen, Semen Cydoniae, Semen Psyllii, Gummi tragacanthae. Diese schleimigen Stoffe werden nicht im Augenblick des Gebrauchs dem einzelnen Präparat zugesetzt, sondern in die Züchtungsgläser gebracht, in denen sie durch ihre langsame Auflösung die Konsistenz des Mediums allmählich steifer und steifer machen. Man hat es dann ganz in der Hand, die Kultur in dem Zeitpunkt zu benutzen, wenn der gewünschte Konsistenzgrad erreicht ist. Für Caragaheen gibt Statkewitsch an: einige Stückchen werden in 0,5—1,0 proz. Lösung von Natriumkarbonat abgewaschen

und auf 5—8 Tage der Kultur zugefügt. Kulturen denen derartige konsistenzerhöhende Mittel zugesetzt sind, leben noch 4, 6—8 Wochen, und können durch Durchspülung (s. o.) länger am Leben erhalten werden.

Immerhin darf man sich nicht verhehlen, daß ein Medium erhöhter Konsistenz nicht unbedingt indifferent ist, und dass besonders bei höheren Graden der Steifigkeit die Entleerung der Vakuolen leidet, was stets als eine schwere Schädigung wird angesehen werden müssen.

Dieser Übelstand wird vermieden, wenn man sich der Thigmotaxis zur Immobilisierung der Tiere bedient. An Zoogloeahaufen, Detritus, Fließpapier gelangen die Ciliaten Infusorien, besonders Paramaecium und Colpidium, oft zur völligen Ruhe, indem durch den Berührungsreiz der Cilienschlag gehemmt wird. Nierenstein[33]) hat diesen Zustand mit Erfolg benutzt um die normalen Verdauungserscheinungen der Tiere zu studieren, und wenn es auch nicht immer gelingt, ein Tier durch genügend lange Zeit in vollständiger Bewegungslosigkeit zu erhalten, so ist es bei einiger Geduld doch möglich, selbst bei stärksten Vergrößerungen die erforderlichen Beobachtungen zu machen.

Für eine Reihe von Beobachtungen endlich, z. B. die Feststellung der normalen Entleerungsfrequenz der Systoletten, halte ich jede Behinderung der Bewegung für einen Eingriff, der in unkontrollierbarer Weise den Ablauf der Erscheinungen beeinflußt. Man muß in solchen Fällen an den frei schwimmenden Objekten beobachten, was nach einiger Übung sehr gut gelingt.

Vitalfärbung.

Es ist zuweilen angenehm, bestimmte Plasmadifferentiierungen, die näher untersucht werden sollen, durch Vitalfärbung auffälliger zu machen.

Am meisten ist hierzu das Neutralrot[34]) verwendet worden, das in außerordentlich verdünnten Lösungen zur Verwendung kommt, ähnlich geeignet ist Bismarckbraun. Insoweit Vitalfärbungen beim Studium der Verdauung nützlich sind, werden sie unten erwähnt werden. Im übrigen ist die methodische Verwendung bisher eine recht beschränkte gewesen. Außer den Nahrungsvakuolen färben sich mit Neutralrot bei Paramaecium eine Reihe kleiner Körnchen unbekannter Bedeutung im Plasma sowie die Köpfe der Trichocysten.

Aus einem Gemisch von 0,05 Proz. Neutralrot und 0,05 Proz. Methylenblau zu gleichen Teilen färben sich lebende Zellen rot, abgestorbene blau.[35])

III. Spezielle Methoden.

1. Die physikalisch-chemische Beschaffenheit der Protisten.

a) Der Aggregatzustand.

Zur Entscheidung der Frage in welchem Aggregatzustande sich der lebende Zellkörper bei Protisten befindet, bezw. welche physikalischen Besonderheiten er bietet, sind kaum spezifische Methoden angewendet.

Zum Studium der Erscheinungen der Plasmaströmung, die z. B. bei Amöba blattae besonders lebhaft ist, wurden keine besonderen Hilfsmittel benutzt, und zum Nachweis, daß die Plasmaströmung unabhängig von dem auf ihr lastenden Druck ist, wurden die großen Zellen von Chara oder

Nitella, also keine Protozoën verwendet (Rhumbler).[36] Die Konstanz der Randwinkel an den Schalen der Foraminiferen, die Rhumbler entdeckte und für die Theorie des Aggregatzustandes verwertete, sind ebenfalls ohne weiteres der Messung zugänglich, und ebenso das kapillare Aufsteigen des Plasmas von Myxomyceten, das eine Folge des flüssigen Aggregatzustandes ist. In bezug auf eine Reihe von Versuchen zur Demonstration der Abweichungen im Verhalten lebender Zellen von den einfachen Flüssigkeitsgesetzen und ihre Erklärung aus der Schaumstruktur des Plasmas muß auf Rhumblers grundlegende Arbeiten hingewiesen werden.

b) Die chemische Zusammensetzung.

Die Hauptschwierigkeit beim Studium der chemischen Zusammensetzung der Protisten liegt darin, daß nur von wenigen Formen die genügenden Massen zu beschaffen sind, die zu einer Analyse ausreichen.

Der Wassergehalt ist bisher bei einem Radiolar Collozoum inerme, bestimmt, daß in großen Massen z. B. in Neapel zu haben ist. Vernon[37]) fand die Trockensubstanz nach Abzug der Salze des Meerwassers, die in den Tieren gelöst waren, zu 0,4 Proz. des frischen Gewichtes. Das ist im Vergleich zu dem mitunter noch niedrigeren Trockensubstanzgehalt anderer Seetiere, z. B. der Ctenophoren oder Medusen, nicht auffallend wenig, und wenn unter dem Mikroskop einzelne Protisten einen recht festen, konsistenten Eindruck machen, so muß man sich stets ihre geringe absolute Größe im Gedächtnis halten, bei der die Oberflächenspannung eine gewaltige Rolle für die Festigkeit spielt, so daß wir den Wert von ca. $^1/_2$ Proz. Trockensubstanz wohl als einen Mittelwert ansehen können. Rechnen wir danach aus, wieviel Paramaecien nötig sind um 1 mg Trockensubstanz zu liefern, so ergibt sich, daß es ca. 200000 sind. Bei Aethalium septicum fanden Reinke und Rodewald[38]) 28,4 Proz. des frischen Gewichts an lufttrockner Substanz, die beim weiteren Trocknen bei 110° noch 4,71 Proz. verlor, so daß der wirkliche Trockensubstanzgehalt 23,7 Proz. betragen würde.

Von den großen Gruppen der Körperstoffe, Fetten, Kohlehydraten, Eiweißstoffen, wissen wir von ersteren kaum etwas. In mikroskopisch nachweisbarer Form kommt Fett bei Protisten vielfach vor, z. B. in den Öltropfen der Radiolarien und ähnlichen Gebilden, die im Plasma der Coccolithophoriden[39]) beschrieben sind, ebenso scheint es, daß Lecithine vorhanden sind, jedenfalls spricht hierfür die Beobachtung von Kölsch,[40]) daß beim Zerfließen mancher Ciliaten Infusorien (Opalina u. a.) Myelinformen auftreten, die ja typisch entstehen, wenn Lecithin mit Wasser aufquillt. Reinke und Rodewald[41]) fanden einen Gehalt von 5,36 bis 8,15 Proz. Ätherextrakt in der lufttrocknen Substanz von Aethalium, in dem Paracholesterin, Buttersäure, Propionsäure, Kapronsäure sowie Kalziumstearat enthalten waren. Die Fettsäuren sind großenteils frei, nur ein kleiner Teil kann als Glyceride gebunden sein.

100 Teile lufttrocknen Plasmas enthalten:

Wasser	4,80
Kalziumkarbonat	27,70
weitere Asche	3,73
Gesamtasche	31,43.

Auf aschefreie, bei 110° getrocknete Substanz umgerechnet, beträgt der Gehalt der wichtigsten Verbindungen wie folgt:

Vitellin	7,8
Plastin	43,0
Purinbasen	0,015
Asparagin	1,57
Peptone	6,3
Lecithin	0,32
Glycogen	7,42
Äthaliumzucker	4,7
höhere Fettsäuren als Kalziumsalze	8,4
Fettsäuren im Ätherextrakt	6,3.

Bei anderen Protisten hat die Gewinnung genügenden Materials meist sehr bedeutende Schwierigkeiten, selbst von Paramaecium sind bisher noch nicht solche Massen gezüchtet worden, daß eine eingehende chemische Charakteristik der Zellbestandteile möglich gewesen wäre. Sosnowski[42]) hat eine Reihe von Reaktionen mit Paremaecienkörpern ausgeführt, z. B. mit positivem Erfolge die Biuret und die Millonsche Reaktion. Im übrigen läßt sich nach seinen Angaben nur sagen, daß P haltige Eiweißkörper (oder Eiweißverbindungen) in Paramaecium vorkommen, daß Stoffe mit heißem Alkohol extrahiert werden können (Lecithine, Lipoide etc.) und daß genuine Eiweißkörper nicht nachweisbar sind. Die chemische Untersuchung bietet nichts besonderes, die technische Schwierigkeit liegt lediglich in der Beschaffung genügender Materialmengen.

Was den Bestand an Kohlehydraten anlangt, so liegt wenigstens über ein Objekt eine eingehendere Untersuchung vor, im allgemeinen sind wir auch hier über die erste grobe Orientierung durch die Färbungen noch nicht herausgekommen.

Während bei Algen die Blaufärbung mit Jod bei einer Reihe von Inhaltskörpern gelingt, die sich dadurch als stärkeartig zu erkennen geben, finden sich bei den Protozoën, soweit überhaupt mit Jod färbbare Polysaccharide vorhanden sind, nur glykogenartige Stoffe, die mahagonibraune Färbung annehmen. Bei Gregarinen fand Bütschli derartige Reservestoffe in Menge.

Bei Ciliaten kann die Braunfärbung durch Jod ganz fehlen und zu anderen Zeiten in derselben Spezies sehr stark sein (z. B. Paramaecium).

Pelomyxa enthält in ihrem Plasma zahlreiche stark lichtbrechende Gebilde, sog. „Glanzkörper", die sich durch Stolc'[43]) Untersuchungen als Glykogen erwiesen haben, deren Hüllen aber aus einem noch nicht näher definierten schwer löslichen Kohlehydrat bestehen. Wichtiger als der Nachweis der Kohlehydrate, die dieselben färberischen Eigenschaften zeigen, wie die uns genau bekannten, ist die Auffindung von Polysacchariden, die sich ganz anders verhalten.

Gottlieb fand bei Euglena (Flagellat) einen von ihm als Paramylum bezeichneten Stoff, der in sehr bedeutender Menge gespeichert, ca. 50 Proz. der gesamten Trockensubstanz dieses Wesens bildet. Nach den übereinstimmenden Angaben von Gottlieb und Bütschli[44]) hat dieser Körper folgende Eigenschaften: Jod färbt ihn nicht, auch nach Zusatz von 50 oder 70 Proz. Schwefelsäure zeigt sich keine oder nur eine ganz leichte gelbliche

Färbung. In Wasser ist das Paramylum selbst bei 150° höchstens in Spuren löslich. Speichel übt keine Wirkung. Weder in Wasser noch in 37proz. Salzsäure erfolgt Quellung. Nach Kochen mit 7—8 Proz. Salzsäure werden die Körnchen leichter quellbar und lösen sich in 70proz. Schwefelsäure. In stark schwefelsaurer Lösung 16 Stunden lang gekocht, liefert das Paramylum einen reduzierenden Körper. Es läßt sich ein Osazon vom Schmelzpunkt 204—205° herstellen, wonach also der Zucker des Paramylum d-Glukose ist. In 6proz. Kalilauge quellen die Körper auf und lösen sich dann, in Formalin erfolgt rasche Quellung und Lösung (in 1—2 Stunden).

Die Hauptschwierigkeit, die sich einer Erweiterung unserer Kenntnisse über die Chemie der Protisten entgegenstellt, ist die meist zu geringe Materialmenge, die zur Verfügung steht. Hier eröffnet sich der mikrochemischen Analyse ein weites Feld.

So erbrachte W. Schewiakoff[45]) (1894) den Nachweis, daß die sog. „Exkretkörner" der Infusorien, die z. B. bei Paramaecium oft in bedeutender Menge das Endoplasma erfüllen, aus phosphorsaurem Kalk bestehen, und nicht etwa organische Stoffe enthalten, die von Bedeutung im Stoffwechsel sein könnten.

Ebenso konnte Schaudinn[46]) (1899) in den Exkretkörnern von Trichosphaerium Kalzium und Phosphorsäure nachweisen. In beiden Fällen war die Beziehung zur Art der Ernährung deutlich, indem pflanzliche Nahrung das Auftreten wenig begünstigte, während bei tierischer Nahrung die Körnchen (Konglomerate stark lichtbrechende Kristalle) in Menge zu finden waren.

Auf mikrochemischem Wege gelang Schaudinn auch der Nachweis, daß die Skeletteile von Trichosphaerium aus Magnesiumkarbonat, nicht wie Foraminiferenschalen gewöhnlich (z. B. bei Calcituba polymorpha) aus Kalziumkarbonat bestehen.

Awerinzew[47]) wies in den Schalen der Süßwasserrhizopoden (Quadrula, Lecquereusia, Euglypha und Cyphoderia), Kieselsäure (SiO_2) und Eisen nach, erstere in Form der Kristalle von Na_2SiF_6, das Eisen durch die Berlinerblaureaktion.

Die Ausführung der angeführten mikrochemischen Reaktionen lehnt sich eng an die vorhandenen Anweisungen an, wie sie besonders in trefflicher Zusammenfassung O. Richter[48]) neuerdings gegeben hat, auf dessen Darstellung und ausführliche Bibliographie hier verwiesen werden muß.

2. Ernährung und Verdauung.

Die Entscheidung der Frage, in welcher Form die Protisten ihre Nahrung aufnehmen, ist mit großen methodischen Schwierigkeiten verbunden.

Einer großen Anzahl von ihnen fehlt die Fähigkeit, geformte Nahrung aufzunehmen, so daß als Stoffquellen nur gelöste Stoffe in Betracht kommen.

Am einfachsten scheint ja der Fall bei den chlorophyllhaltigen Formen zu liegen, bei dem Heer der Protophyten und der Mehrzahl der Flagellaten, denn bei ihnen würde nach den geläufigen Vorstellungen die Kohlensäure als alleinige Kohlenstoffquelle dienen, aus der auf photosynthetischem Wege Kohlehydrate aufgebaut würden. Für die übrigen notwendigen Stoffe ist in gelösten Salzen gewöhnlich kein Mangel.

Die Ernährungsphysiologie der Algen hat aber neuerdings gezeigt, daß

diese Organismen auch ohne Ausnutzung des Lichtes leben können, wenn ihnen geeignete organische Verbindungen zur Verfügung stehen.

So fand Treboux[49]) für eine größere Anzahl von Algenarten, daß Essigsäure bei völligem Lichtabschluß als Kohlenstoffquelle verwertet wird, bei einer Spezies (Chlamydomonas) sogar besser als Zucker. Das Optimum der Konzentration liegt etwa bei 0,25 Proz. Michsäure nutzten 2 Algenarten aus, Scenedesmus acutus und Coelastrum microporum, mit Buttersäure vermochte Euglena viridis zu leben. Die Nährlösung enthielt $(NH_4)_2SO_4 =$ 0,033 Proz., $K_2HPO_4 = 0{,}01$ Proz., $MgSO_4 + 7H_2O = 0{,}0025$ Proz., $K_2SO_4 =$ 0,0025 Proz., $FeSO_4 + 7H_2O = 0{,}0005$ Proz., die Reaktion wurde neutral bis schwach alkalisch erhalten.

Die umfassende Untersuchung von Zumstein[50]) zeigte, daß Euglenen sich völlig heterotroph ernähren können und daß kein Unterschied zwischen chlorophyllosen Euglenen und Astasiiden besteht, beide Formenreihen gehen kontinuierlich ineinander über. Euglena gracilis nutzt Zitronensäure (1 bis 2 Proz.), weniger gut Weinsäure (0,5—1 Proz.) und nur schlecht 0,2 Proz. Oxalsäure aus. Bemerkenswert ist, daß Euglena viridis zwar Buttersäure aber keine Zitronensäure ausnutzen kann.

Wo also in der Natur gelöste komplexe Kohlenstoffverbindungen vorkommen, da wird man stets zu erwägen haben, ob sie neben der CO_2 eine ernährungsphysiologische Bedeutung haben. Zweifellos wird eine derartige Bedeutung bei chlorophyllfreien Formen, wie sie sich ja unter den Flagellaten und Diatomeen finden.

Auch eine Reihe von Protozoën ernährt sich ganz offenbar von Stoffen, die in gelöster Form aufgenommen werden. Unzweifelhaft ist dies für die große Klasse der parasitischen Sporozoën (Coccidien und Gregarinen) sowie für die, ihrer systematischen Stellung nach so dunkle Opalina ranarum.

Auch bei den Radiolarien findet unter normalen Bedingungen keine Aufnahme geformter Nahrung statt, und die symbiotischen Algen, die vielfach mit ihnen vereinigt sind, dürften kaum zur Deckung des großen Stoffbedarfs ausreichen, der aus dem Sauerstoffverbrauch geschlossen werden kann (Pütter).[51])

Ob bei den Protozoën, die geformte Nahrung aufnehmen, die Menge zur Deckung des Stoffbedarfs ausreicht, wäre erst auf Grund der quantitativen Bestimmung des letzteren zu entscheiden, der sich meist erhebliche technische Schwierigkeiten entgegenstellen (s. u.).

In welchem Umfange Protisten Bakterien fressen können, geht aus Huntemüllers[52]) Untersuchungen hervor, der Bodo ovatus und Bodo saltans mit Typhusbazillen fütterte und nicht nur qualitativ beobachtete, daß viele Bakterien von den Flagellaten in kurzer Zeit aufgenommen werden, sondern durch Zählung der Keime zeigte, daß in 1—2 Tagen die größte Menge der Bazillen verschwunden war, indem dabei der Keimgehalt z. B. im Verhältnis von 200000 bis 7- oder 8000 abgenommen hatte. Der Modus der Nahrungsaufnahme, z. B. einer Amöbe, ist ohne besondere technische Hilfsmittel zu studieren, und verläuft in der Weise, wie es Fig. 7 zeigt.

Zur Orientierung über den Ernährungszustand eines Protists dient am besten die Jodfärbung, die einen Teil der gespeicherten Kohlehydrate mahagonibraun (Glykogen) oder blau (Stärke) hervortreten läßt, während das

eiweißhaltige Plasma einen gelben Farbenton von verschiedener Intensität annimmt. Will man sich nur ganz generell über die Verteilung dieser Stoffe unterrichten, so genügt es, dem Tropfen Kulturflüssigkeit, in dem man die

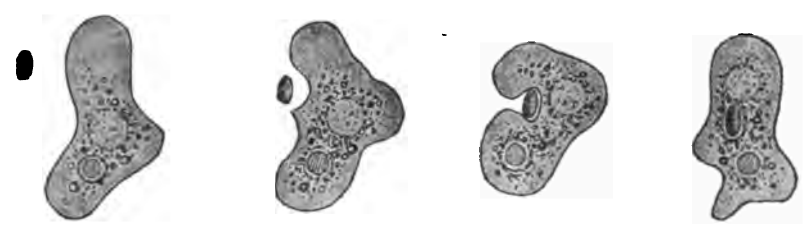


Fig. 7. Aufnahme einer Algenzelle durch eine Amöbe. (Aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

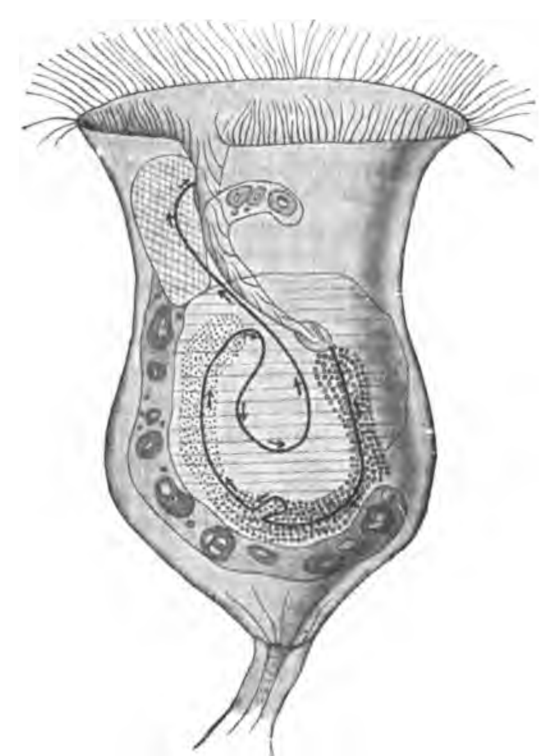


Fig. 8. Weg der Ingesta bei Carchesium. (Nach Greenwood aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Objekte beobachtet, etwas Jodtinktur zuzusetzen. Zur Vergleichung des relativen Gehaltes an Reservematerial verfährt man zweckmäßig folgendermaßen: In ein Uhrschälchen mit absolutem Alkohol läßt man in möglichst kleinen Tropfen die Protozoën hereintropfen, saugt sie mit einer feinen Pipette auf und läßt den Alkohol auf dem Objektträger verdunsten, wodurch die Objekte festgeklebt werden. Ein Tropfen Jodtinktur, für eine halbe Minute aufgebracht, färbt alles mit Jod färbbare und wird mit einem Stückchen Filtrierpapier abgedrückt. Die gefärbten Objekte müssen dann sofort untersucht werden in Wasser, Glyzerin oder Kanadabalsam, sie bleichen rasch aus. Auf diese Art kann man sich einigermaßen über den Ernährungszustand der Tiere orientieren.

Welche Mängel eine derartige Untersuchung hat, geht aus dem über Kohlehydrate, die sich nicht mit Jod färben, oben gesagter deutlich hervor.

Reicht für das Studium des Weges, den die Ingesta im Endoplasma nehmen, wie für das Erkennen der gröberen Veränderungen, die sie erleiden, die einfache mikroskopische Betrachtung aus (s. Fig. 8), so hat man doch versucht durch vitale Färbungen Aufschluß über die Reaktion während der

Verarbeitung, eventuell über ihre Veränderung in bestimmten Zellteilen etwas zu erfahren.

Die früher vielfach widersprechenden Angaben haben sich wesentlich durch Berücksichtigung zweier Momente geklärt: der Prozeß der Nahrungsverarbeitung zerfällt (speziell bei den Ciliaten) in zwei Phasen, in denen sich die Nahrungsvakuolen verschieden verhalten und die Indikatoren, die zur Feststellung der Reaktion verwendet werden, geben je nach ihrer Empfindlichkeit verschiedene Resultate.

Nach Nirenstein[53]) sind die beiden folgenden Perioden in den Veränderungen der Nahrungsvakuolen zu unterscheiden:

Periode 1. Die Nahrungsvakuole löst sich vom Schlund ab, wird durch Wasserverlust verkleinert, der Inhalt ballt sich und es dringen Endoplasmakörnchen in die Vakuole ein.

Periode 2. Die Vakuole vergrößert sich wieder durch Wasseraufnahme, der Nahrungsballen (Bakterienballen) zerfällt und die Granula werden aufgelöst.

Während der ersten Phase reagiert die Vakuole sauer, während der zweiten, der eigentlichen Verdauungsphase dagegen alkalisch.

Für die Feststellung der Reaktion ist folgendes zu beachten:

Neutralrot färbt sich fuchsinrot bei Gegenwart verdünnter Mineralsäuren, organischer Säuren, Kohlensäure, saurer Salze und Nucleïnsäure. Bei genau neutraler Reaktion ist es ziegelrot, bei alkalischer gelb.

Kongorot, bei neutraler Reaktion scharlachrot. Farbenumschlag in blau erfolgt in Gegenwart verdünnter Mineralsäuren, während organische Säuren die Farbenänderung erst in so hohen Konzentrationen bewirken, wie sie für die vorliegenden Zwecke nicht vorkommen. An Eiweis gebundene Säure bewirkt keine Blaufärbung.

Dimethylamidoazobenzol, bei neutraler und alkalischer Reaktion gelb, Mineralsäuren geben schon in großer Verdünnung einen Farbenumschlag in fuchsinrot. Dieser Farbstoff bewirkt wie Neutralrot eine Vitalfärbung des Plasmas.

Methylorange, durch Alkali gelb, durch verdünnte Mineralsäuren rot gefärbt, ebenso Tropäolin OO.

Die Reaktionsgrenze liegt für Tropäolin bei einer Konzentration von 0,048 Proz. Schwefelsäure, für Dimethylamidoazobenzol bei 0,03 Proz., da nun bei Paramaecium die saure Reaktion des Vakuoleninhaltes, die durch freie Mineralsäuren bedingt ist, gerade an der Grenze der Nachweisbarkeit durch Tropäolin liegt, so darf man in ihr eine Konzentration von ca. 0,018 Proz. HCl annehmen.

Ist durch die mikroskopische Beobachtung der Veränderungen, die aufgenommene Nahrungspartikel im Innern des Protozoënkörpers erfahren, der Nachweis verdauender Stoffe erbracht, so blieb doch die Darstellung von Fermenten, die von der Zelle getrennt ihre Wirksamkeit entfalten, wünschenswert.

H. Mouton[54]) (1902) stellte ein proteolytisches Ferment aus Amöben dar, die er mit Bacterium coli zusammen gezüchtet hatte (s. o.). Durch Zentrifugieren werden die Amöben ziemlich vollständig von den Bakterien getrennt und darauf mit Glyzerin extrahiert. 10 ccm des Extraktes werden

mit 50 ccm Alkohol gefällt, abzentrifugiert, der Alkohol dekantiert und der Niederschlag schnell in Wasser gelöst, da längeres Verweilen in Alkohol das Ferment zerstört. Die gewonnene Fermentlösung ist imstande Gelatine zu lösen (was im Kontrollversuch mit Bacterium coli nicht erfolgt) und wirkt am besten bei einer Reaktion, die gegen Phenolphtaleïn sauer, gegen Methylorange alkalisch ist. Temperaturen von 59° schwächen das Ferment erheblich, bei 60° wird es zerstört. Peptone konnten bei der Gelatineverdauung nicht nachgewiesen werden. Fibrin wird unter Bildung von Tyrosin zerlegt, wobei Tryptophanbildung festgestellt werden konnte.

Auch aus Paramaecien vermochten Mesnil und Mouton Fermente zu isolieren. Die Paramaecien wurden durch Galvanotaxis rein gewonnen, mit Chloroform extrahiert (Konservierung in Glyzerin). Die Wirkung des Ferments entfaltet sich am besten bei (gegen Lakmus) neutraler Reaktion, auch bei schwach saurer oder schwach alkalischer ist sie noch zu beobachten. Einwirkung von 56° durch eine Stunde setzt die Wirkung herab, 64° durch eine Stunde setzt sie auf 1/10 herab. Gelatine wird gelöst und bei 35° auch langsam Fibrin, das vorher auf 58° erhitzt war.

Diese Angaben sind spärlich genug und reichen zu einem Vergleich der beobachteten Fermentwirkungen mit Fermenten anderer Herkunft in keiner Weise aus, sie zeigen wesentlich, daß keine unüberwindlichen technischen Schwierigkeiten sich dem Studium der Fermente bei Protisten entgegenstellen.

3. Stoffwechsel.

Die quantitativen Verhältnisse des Stoffwechsels der Protozoën stellen noch eine fast völlige terra incognita dar, nur über die Kohlensäureabgabe und den Sauerstoffverbrauch liegen einige wenige Angaben vor.

Vernon[56]) benutzte das Radiolar Collozoum inerme, das sich seiner Größe und Häufigkeit wegen gut eignet, zu Versuchen über den Sauerstoffverbrauch. Aus seinen Zahlen ergibt sich ein sehr hoher Sauerstoffverbrauch: es wurden von 223 g aschefreier Trockensubstanz in einer Stunde 6,205 g Sauerstoff verbraucht, das bedeutet auf den üblichen Vergleichswert kg organische Trockensubstanz und Stunde umgerechnet 27 800 mg. Die Einzelindividuen haben etwa 100 mg Gewicht und 0,4 Proz. aschefreie Trockensubstanz, die Oberfläche der annähernd kugelförmigen Kolonie umfaßt ca. 100 mm^2, so daß der Sauerstoffverbrauch pro m^2 Stunde 1110 mg beträgt.

Vernons Methodik war für Collozoum dieselbe, wie für das Studium des Gaswechsels anderer Wirbelloser.

Eine Untersuchung über die Menge der Kohlensäure, die Paramaecien produzieren, verdanken wir Barratt.[57])

In einen gläsernen Rezipienten von ca. 250 ccm Inhalt werden etwa 50 ccm paramaecienhaltige Flüssigkeit gebracht. Der Rezipient ist durch Schliffe geschlossen. Nach ca. 24 Stunden wird durch einen kohlensäurefreien Luftstrom die gebildete CO_2 ausgespült, über Schwefelsäure getrocknet und in einem Absorptionsapparat aufgefangen, der in einem Schenkel Natronkalk, im zweiten Schwefelsäure (in Bimstein) enthält (s. Fig. 9). Bei sorgfältiger Ausführung ist der Versuchsfehler sehr gering.

Die Abtrennung der Paramaecien von anhaftenden Bakterien ist hier natürlich von der größten Bedeutung für das Resultat. Die Reinigung er-

folgte durch Zentrifugieren und die in destilliertem Wasser befindlichen Paramaecien blieben meist vor dem Versuchsbeginn 24 Stunden lang stehen.

Es zeigt sich für die Größe der Kohlensäureproduktion ein deutlicher Einfluß der Temperatur, indem bei 27—30° etwas mehr als doppelt so viel gebildet wurde, als bei 15°; hungernde Tiere gaben weniger CO_2 ab, als frisch aus der Kultur entnommene.

Die Zahl der Tiere, die im einzelnen Versuch zur Verwendung kamen, schwankte zwischen 43000 und 355000, das Volumen zwischen 27,5 und 116 cmm. (Methoden der Zählung und Volumbestimmung s. o.)

Als Beispiel seien die Zahlen eines Versuches angeführt: bei 19—21° C. produzierten 200000 Tiere (51,8 cmm) in 24 Stunden 1,2 mg CO_2, d. h. 1,9 Proz. ihres Lebendgewichtes. Da der Wassergehalt der Paramaecien unbekannt ist, so ist eine Umrechnung auf einen Vergleichswert z. B. auf 1 kg organische Trockensubstanz und Stunde, ziemlich willkürlich. Würde man den Gehalt an organischer Trockensubstanz zu 0,4 Proz. ansetzen, wie er für Collozoum bestimmt war, so hätten wir eine CO_2 Abgabe von 400000 mg pro kg organische Trockensubstanz und Stunde. Es würden also pro kg organische Trockensubstanz in der Stunde mehr als 100 g Kohlenstoff in Form von CO_2 ausgeschieden, was einen Stoffumsatz von ganz gewaltiger Intensität bedeutet, der allerdings wieder wesentlich geringer erscheint, wenn man ihn auf die gewaltige Oberfläche der kleinen Versuchstiere bezieht.

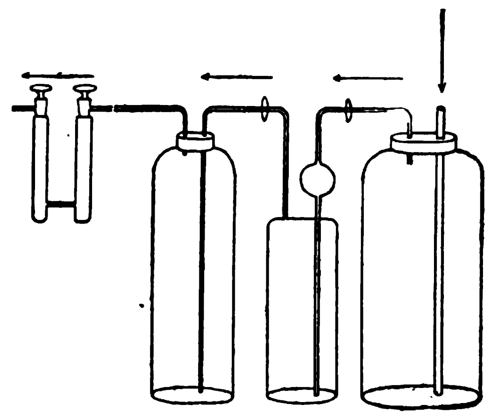


Fig. 9. Apparat zur quantitativen Bestimmung der Kohlensäureproduktion von Paramaecium. (Nach W. Barratt.)

Den qualitativen Nachweis, daß Paramaecien einen Stoff ausscheiden, der Rosolsäure entfärbt, also sowohl CO_2, wie eine andere organische Säure sein könnte, hat Jennings[58]) erbracht, der diese Entfärbung beobachtete, wenn die Paramaecien sich zu dichten Gruppen zusammendrängten. Einige Beobachtungen dieses Autors über die Grenzen derartiger Gruppen, die als chemotaktische Ansammlungen zu betrachten sind, scheinen darauf hinzudeuten, daß in der Tat auch andere Stoffwechselprodukte als CO_2 von den Tieren abgeschieden werden, und die Ansammlung bewirken.

Außer der Kohlensäure ist noch kein Endprodukt des Stoffwechsels quantitativ bestimmt und auch qualitativ liegen nur vereinzelte Angaben vor. So fand Rhumbler[59]) bei Stylonychia Harnsäure als Endprodukt. Schaudium[60]) wies gleichfalls durch die Murexidprobe bei Trichosphärium Harnsäure nach.

Lassen sich auch chemisch die Endprodukte des Stoffwechsels kaum charakterisieren, so gelingt doch der biologische Nachweis, daß sich der-

artige, schädlich wirkende Stoffe bilden und in das umgebende Medium ausgeschieden werden.

Bringt man Paramaecien in möglichst großer Zahl in einen möglichst kleinen hängenden Tropfen und läßt diesen in der feuchten Kammer in Luft stehen, so entwickelt sich im Laufe einiger Stunden bis zu einem halben Tage ein Bild, das deutlich zeigt, daß hier eine schwere Vergiftung der Tiere stattfindet. Sauerstoffmangel ist nicht der Grund, denn durch frische Luft kann der Prozeß nicht beeinflußt werden, auch Anhäufung von CO_2 ist als Ursache auszuschließen, da die Paramaecien selbst gegen hohen CO_2 Gehalt der Luft sehr resistent sind. Es muß sich also um die Wirkung gelöster Stoffe handeln, die aus dem Stoffwechsel der Tiere stammen. Dies erkennt man auch daran, daß Übertragung in frisches Wasser rasche Erholung bewirkt, wenn die Schädigung noch nicht zu weit gegangen ist und daß andererseits frische Tiere, die mit möglichst wenig Wasser in den Tropfen eingebracht werden, der die Stoffwechselprodukte enthält, rasch das Bild der Vergiftung zeigen.

Einen kleinen Einblick in die Art des Stoffwechselgetriebes gewähren noch die Untersuchungen über das Leben nach Sauerstoffentziehung.

Den Erfolg, den man erhält, wenn man diese bedeutenden Eingriffe in das Stoffwechselgetriebe der Protisten vornimmt, ist äußerst verschieden, je nach den Bedingungen, unter denen er erfolgt.

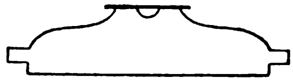


Fig. 10. Einfache Gaskammer zur Beobachtung im hängenden Tropfen.

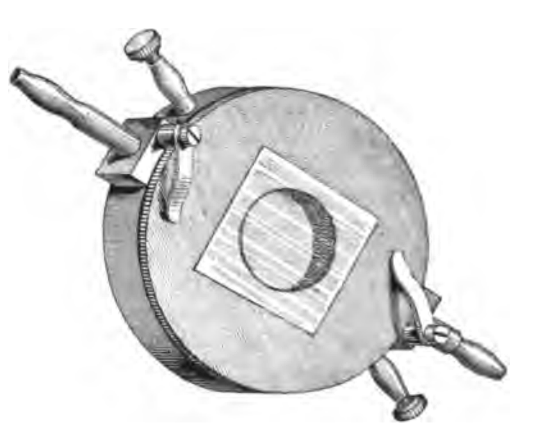


Fig. 11. Gaskammer nach Engelmann. (Aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Die einfachste Methode ist die, daß man durch eine Gaskammer (Fig. 10 u. 11) in der im hängenden Tropfen die Versuchstiere enthalten sind, einen Strom reinen Stickstoff durchleitet, (Anordnung s. Fig. 12).

Für die Herstellung eines physiologisch indifferenten und völlig sauerstoffreien Stickstoffs dient am besten als Ausgangsmaterial der Luftstickstoff, der in Stahlflaschen in den Handel kommt. Dieser enthält etwa 2 Proz. Sauerstoff, zu deren Entfernung man folgendermaßen verfährt. Auf einen Glasgasometer von ca. 25 Litern kommt ein Liter 30proz. Seignettesalzlösung, 200 ccm Ferrosulfat (40 Proz. Lösung) und 200 ccm Kalilauge (60 Proz. Lösung). Mit diesem Gemisch wird das Gas mehrfach im Laufe einiger Stunden gut durchgeschüttelt. Vor dem Gebrauch leitet man das Gas durch eine bis zwei Waschflaschen mit der Ferrolösung.[61]) Leitet man derartig hergestellten Stickstoff durch die Gaskammer, so treten an den Protisten (Ciliaten wurden bisher nur untersucht) im hängenden Tropfen

bald die Erscheinungen schwerer Schädigung auf. Am raschesten bei Spirostomum, wo schon 3 bis 4 Minuten nach dem Beginn der Gasdurchströmung der Tod der Tiere unter stürmischem Zerfließen erfolgt. Bei Paramaecium dauert es meist viel länger, oft stundenlang, bis die Tiere absterben.

Erneuerte Zufuhr von Luftsauerstoff bewirkt rasch Erholung, die besonders bei Spirostomum mit frappanter Plötzlichkeit einsetzt.

In anderer, sehr einfacher Weise demonstriert Prowazek[62]) die Vorgänge der Erstickung, indem er die Tiere (Paramaecium, Colpidium, Chilodon) in ausgekochtes Wasser bringt, vital mit Neutralrot färbt und ein Deckglaspräparat herstellt, das sorgfältig mit Kanadabalsam abgeschlossen wird. Auch hier sterben die Paramaecien relativ rasch, spätestens nach etwa 2 Stunden ab, die Colpidien halten bis zu 12 Stunden aus.

Ganz anders ist der Erfolg, wenn man den Tieren in größerem Flüssigkeitsvolumen den Sauerstoff entzieht. Hierbei ist auf die völlige Entfernung der letzten Sauerstoffspuren der größte Wert zu legen, da eine prozentual

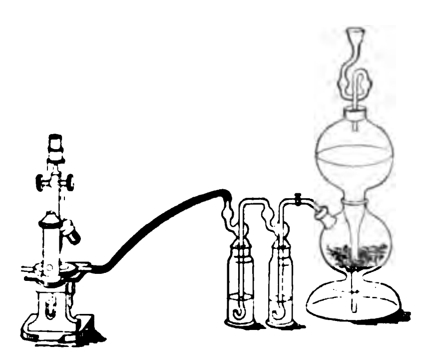


Fig. 12. Versuch mit der Gaskammer. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

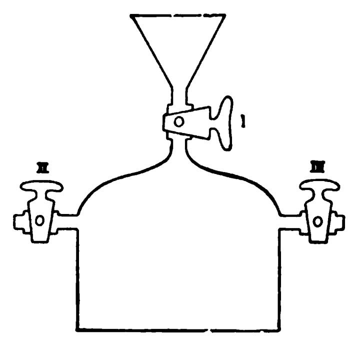


Fig. 13. Rezipient zum Studium der Wirkung der Sauerstoffentziehung bei Protisten.

sehr geringe Menge Sauerstoff bei der großen Flüssigkeitsmenge doch ein Reservoir darstellen kann, das auf längere Zeit die Protisten vor wirklichem Sauerstoffmangel schützt.

Die Technik ist folgende: In einen Recipienten von der Form Fig. 13 kommen ca. 50 ccm gut ausgekochtes, destilliertes Wasser (oder bei Opalina, Nyctotherus p.p. der oben angegebenen Salzlösung), die noch heiß eingefüllt werden. Bei geschlossenem Hahn I wird durch das Gefäß ein lebhafter Strom reinen Stickstoffs geleitet, dann die Hähne II und III geschlossen und gewartet bis der Recipient Zimmertemperatur angenommen hat, wobei in seinem Innern ein negativer Druck entsteht. Die Versuchstiere werden durch Zentrifugieren in einem ganz geringen Flüssigkeitsvolumen (ca. 1 ccm) vereinigt, und in den Trichter oberhalb Hahn I gebracht. Durch schnelles einmaliges Öffnen des Hahns wird die Flüssigkeit eingesaugt, was ganz ohne Eintritt von Luft geschehen kann, und alsdann abermals ein lebhafter Stickstoffstrom durch das Gefäß geschickt. Als Kontrolle dafür, daß auf diese Weise aller Sauerstoff entfernt wurde, kann man zwei Parallelversuche mit sehr verschiedener Anzahl der Versuchsobjekte machen, wobei

sich ergibt, ob beide einen gleichen zeitlichen Verlauf des anaëroben Lebens zeigen, was nicht der Fall sein könnte, wenn eine etwa zurückgebliebene geringe Menge Sauerstoff verwertet würde.

Die Dauer des Lebens ohne Sauerstoff ist in erster Linie von dem Ernährungszustande der Versuchstiere abhängig, indem Hungertiere nur sehr kurze Zeit ohne Sauerstoff aushalten, gutgenährte Tiere dagegen sehr viel länger, z. B. Paramaecien bis zu 10 Tagen, Colpidien bis zu 12 Tagen. Noch viel länger kann man ein Infusor anaërob am Leben erhalten, wenn es gelingt, ihm während dieser Periode Nahrung zuzuführen. Bei Paramaecium und Colpidium ist dies bisher nicht geglückt, wohl aber bei den Infusorien aus dem Enddarm des Frosches, Opalina, Balantidium und Nyctotherus, die in reiner Salzlösung (Zusammensetzung s. o.) nur wenige Tage anaërob aushalten, bei Zusatz von Eiweiß aber, das anaërob fault, längere Zeit ohne Sauerstoff leben können, z. B. Opalina 21 Tage, Nyctotherus 39 Tage.

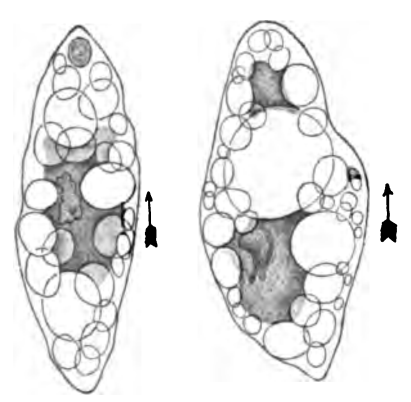


Fig. 14. Paramaecien in vorgerückterem Hungerzustande, stark vakuolisiert. (Nach Wallengren.)

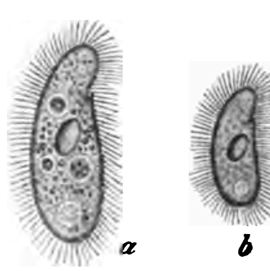


Fig. 15. Colpidium colpoda. a. normal; b. im Hunger stark verkleinert. (Nach Jensen aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Für das Studium der Veränderungen, die die Zelle bei Nahrungsentziehung erleidet, bieten die Protisten ein höchst geeignetes Material. Führt man in der oben beschriebenen Weise Infusorien z. B. Paramaecium oder Colpidium in reines Wasser (Leitungswasser oder destilliertes Wasser) über, so erhält man Hungerkulturen, in denen Wallengren[63]) im Laufe von etwa 2 Wochen sich die Erscheinungen des Hungers bis zum Hungertode hin entwickeln sah. Die Untersuchung geschah an konserviertem Material. Von den vielen interessanten Veränderungen sei hier nur die starke Vakuolisierung des Endoplasmas erwähnt, die mit starker Deformierung der Tiere einhergeht. Solche Formen, wie Fig. 14 sie zeigt, trifft man auch in der Natur gelegentlich, was für die Beurteilung des physiologischen Zustandes eines Objekts wissenswert ist. Eine gleichfalls eingehende Beschreibung der Veränderungen von Paramaecium im Hunger hat Kasanzeff[64]) gegeben.

Bei Paramaecium tritt eine Volumabnahme der ganzen Zelle nicht sehr deutlich hervor, obgleich sie nachweisbar ist, dagegen schrumpfen andere Protisten beim Hungern außerordentlich zusammen, z. B. Colpidium (s. Fig. 15),

Actinosphaerium und vielleicht am extremsten Dileptus gigas, das bei guter Ernährung 0,7 mm lang, 0,12 mm breit ist, beim Hunger auf 0,04 mm Länge, 0,02 mm Breite abnimmt.

4. Energieumwandlungen.

Die Beobachtung lehrt, daß bei den Protisten, wie in allen Formen der lebendigen Substanz die mannigfaltigsten Energieumwandlungen vorkommen, aber die Methoden zum näheren Eindringen in diese Prozesse sind außerordentlich spärlich. Produktion von Wärme und Elektrizität ist aus technischen Gründen nicht nachweisbar.

Die Lichtproduktion, wie sie bei Noctiluka, Peridinium u. a. vorkommt, ist nur in bezug auf ihre Beeinflußbarkeit durch Reize studiert, während der Prozeß des Leuchtens selbst noch nicht Gegenstand der Untersuchung gewesen ist. In sehr mannigfaltiger Weise tritt die Produktion mechanischer Energie in Formen verschiedenartigster Bewegungen hervor.

Wie groß die Energieentwicklung hierbei ist, wissen wir durch Jensens[65]) Bestimmungen. Der Weg zur Bestimmung dieser Größe ist durch die Eigenart von Paramaecium gegeben, sich entgegen der Richtung einer Massenbeschleunigung (Schwerkraft oder Zentrifugalkraft) zu bewegen. Man kann daher die Größe der Massenbeschleunigung bestimmen, die dem Paramaecium eben das Gleichgewicht halten kann (s. unten bei Geotaxis und Centrotaxis).

Die Zentrifugalkraft (k), durch die der Kraft des Paramaeciums das Gleichgewicht gehalten werden soll, ist bestimmt durch die Formel:

$$k = \frac{4\pi^2 r \cdot p}{g \cdot T^2},$$

wenn r die Entfernung des zentrifugierten Körpers vom Rotationsmittelpunkt, p das Gewicht des Körpers, g die Beschleunigung der Erdschwere und T die Umlaufzeit der Zentrifugenscheibe bedeutet.

Aus Volumen und spezifischem Gewicht (s. o.) erhält man das Gewicht des Paramaecium im luftleeren Raum, das im Wasser einen seinem Volumen entsprechenden Gewichtsverlust (Auftrieb) erleidet.

Bei 0,2 Sek. Umlaufszeit der Zentrifuge herrscht Gleichgewicht in 80 mm Entfernung vom Rotationsmittelpunkt, woraus sich die absolute Kraft des Wimperapparates von Paramaecium zu 0,00158 mgr berechnet.

Der Wimperapparat besteht aus ca. 3500 einzelnen Cilien, deren Gesamtmasse nur etwa 1/200 der Masse der ganzen Tiere beträgt, so daß den $4{,}35 \cdot 10^{-6}$ mg Wimpersubstanz eine Kraft von $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ mg entspricht, oder: 1 mg Wimpern würde 368 mg zu heben imstande sein.

Da die Schwimmgeschwindigkeit von Paramaecium bekannt ist (etwa 1 mm pro Sekunde), so kann man bei Kenntnis der absoluten Kraft berechnen, welche Kraft zur Überwindung des Reibungswiderstandes des Wassers erforderlich ist. Jensen fand, daß dieser Anteil etwa 90 Proz. der absoluten Kraft ist.

Zur Bestimmung der Frequenz des Cilienschlages reicht bei vielen Objekten die einfache Zählung nicht aus, d. h. es erfolgen mehr als ca. 8 bis 10 Schläge pro Sekunde. Bei Protisten ist meines Wissens noch nicht der Versuch gemacht zur Frequenzbestimmung die stroboskopische Methode

zu benutzen, die Martius[66]) für Flimmerepithel mit Erfolg verwendete. Er benutzte hierbei ein elektromagnetisches Vibrationsstroboskop, durch das mit variierbarer Frequenz eine Blende zwischen Lichtquelle und Diaphragma geschoben wird.

5. Sekretion und Exkretion.

Über extrazellulare, ungeformte Sekrete ist bei Protisten sehr wenig bekannt, es ist wohl nur eine Gruppe von Stoffen, die häufig und in größerer Menge zur Ausscheidung gelangt: die Schleime.

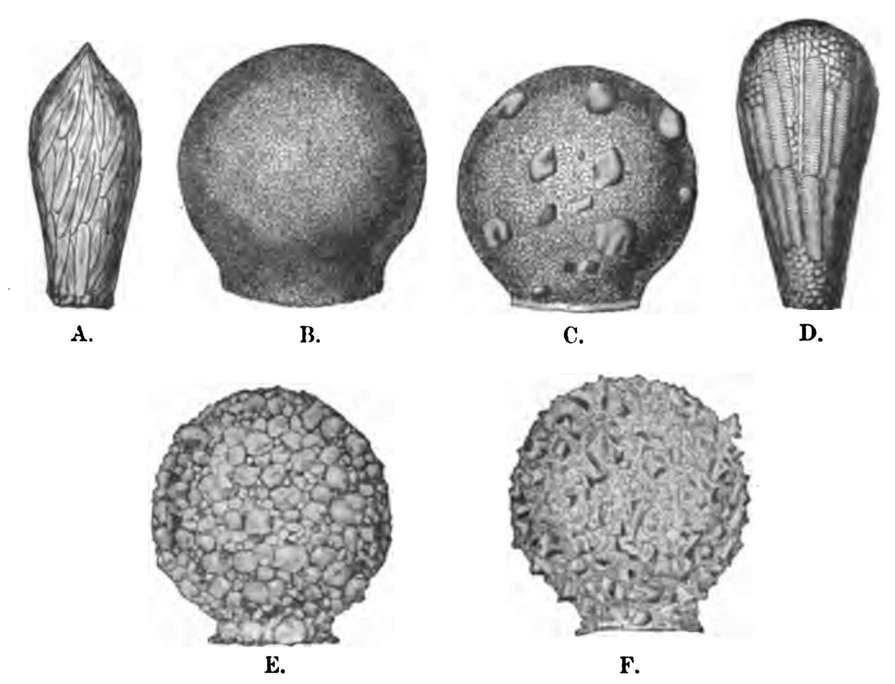


Fig. 16. Verschiedene Difflugiengehäuse. A. Aus Diatomeenschalen; B. aus feinen Sandkörnern; C. aus feinen und groben Sandkörnern; D. aus Diatomeenschalen und Sandkörnern; E. aus groben Sandkörnern; F. aus blauen Glassplittern. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Es ist häufig bei einfacher, mikroskopischer Betrachtung nicht möglich zu erkennen, ob ein Protozoon von einer Schleimhülle umgeben ist, oder wie weit diese reicht. In einfacher Weise wird die Schwierigkeit durch Zufügung einer feinen Aufschwemmung von chinesischer Tusche zum Präparat behoben; es erscheinen dann die Schleimhüllen als helle Höfe um die Organismen, die sie ausgeschieden haben, und auch die Schleimstiele, die viele Algen bei ihrer Fortbewegung abscheiden, treten deutlich hervor.

Eine chemische Untersuchung von Protistenschleimen fehlt noch fast völlig, die Unterscheidung verschiedener Schleimarten ist bisher wohl ausschließlich auf tinktoriellem Wege möglich. Für die Methoden der Schleimfärbung muß auf die Handbücher der mikroskopischen Technik verwiesen werden.

Ein eigenartiges Sekret stellt der Inhalt der sog. Trichocysten bei **Paramaecium** dar. Es sind dies Gebilde, die im Ektoplasma gelegen senkrecht zur Fläche der Pellicula stehen und anscheinend aus einem flüssigen Sekret bestehen. Auf die verschiedensten Reize hin, sobald diese eine genügende Intensität erreicht haben, werden die Trichocysten ausgeschleudert, wobei ihr Inhalt fest wird, anscheinend gerinnt. Daß eine Veränderung mit dem Trichocysteninhalt beim Ausschleudern vor sich geht, zeigt die Beobachtung von Massart[67]), daß derselbe sich im Tier mit einer Lösung

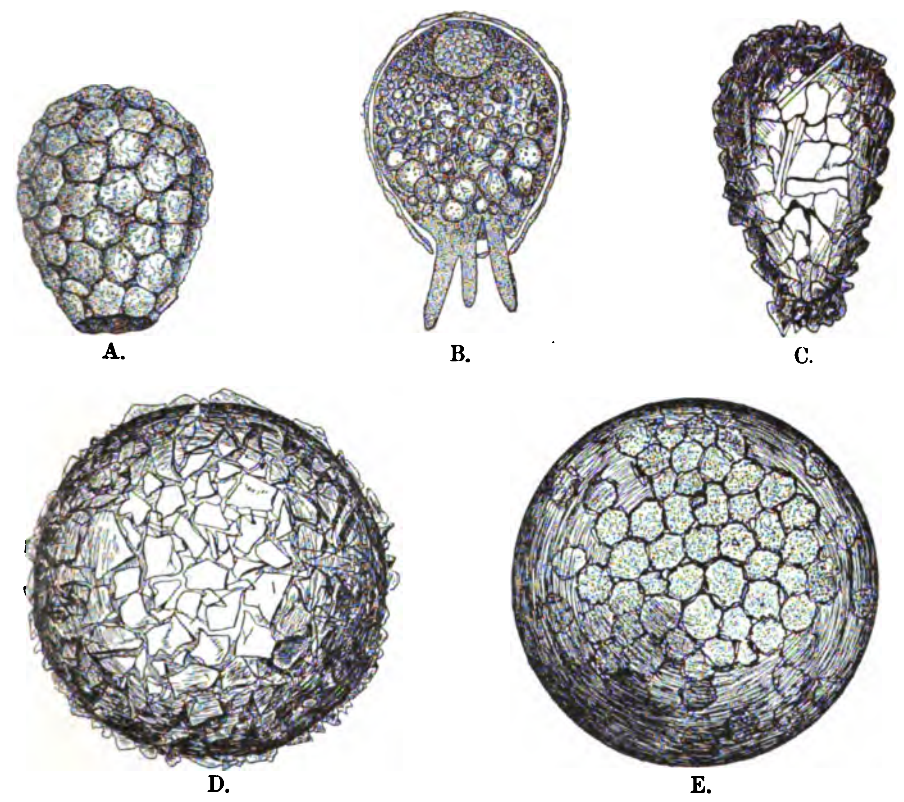


Fig. 17. Gehäuseformen. A. Gehäuse einer Difflugia aus selbstproduziertem organischem Schalenmaterial; B. Längsschnitt durch den Protoplasmakörper einer Difflugia mit den noch weichen Tröpfchen des organischen Gehäusematerials im Innern; C. Gehäuse eines Öltropfens aus Quarzkörnern bestehend; D. Gehäuse eines Chloroformtropfens aus Glassplittern; E. Gehäuse eines Gemischtropfens von Chloroform, Provenceöl und alkoholischer Schellaklösung, der mit Zinnober und Glassplittern verrieben ist. (Nach Rhumbler aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

von Pikrinsäure und Anilinblau, die das Protoplasma gleichmäßig gelb färbt, nicht im geringsten mitfärbt, sind die Trichocysten dagegen ausgeschleudert, so färben sie sich lebhaft blau.

Von großer biologischer Bedeutung sind endlich die Menge geformter Sekrete, die als Schalen oder Skelette der verschiedensten Formen Verwendung finden. Meist ist eine organische Grundlage anorganischen Skelettmaterials eingelagert.

Experimentell lassen sich beide Komponenten voneinander trennen: Schaudium zog die Foraminifere Calcituba polymorpha Roboz im Aquarium zwei Jahre lang ohne das Wasser zu wechseln und ersetzte das Verdunstete stets durch destilliertes Wasser. Die Foraminiferen entwickelten sich in großer Menge und imprägnierten ihre Skelette reichlich mit Kalziumkarbonat. War der Foraminiferenrasen recht dicht geworden, so wurde er entfernt bis auf wenige Exemplare. Nachdem dies einige Male geschehen war, wurden die Skelette immer kalkärmer und endlich bestanden sie fast rein aus der organischen Grundlage. Dem Wasser war nur das Kalziumkarbonat entzogen, denn Trichosphaerium sieboldi, dessen Skelett aus Magnesiumkarbonat besteht, konnte in demselben Wasser seine normalen Skelette aufbauen.

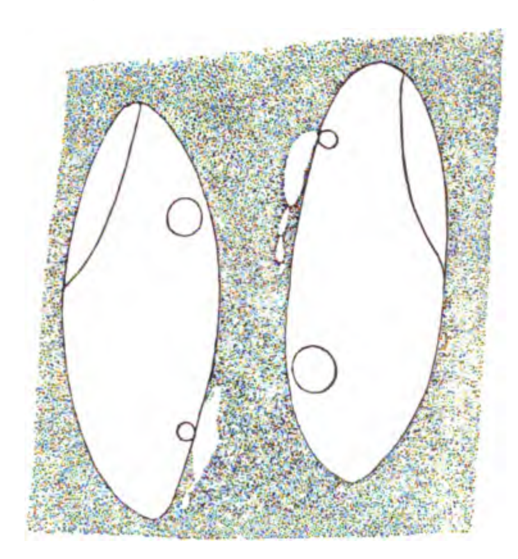


Fig. 18. Demonstration der Systolettenentleerung bei Paramaecium vermittels der Tuschemethode. (Nach Jennings.)

Zeigt dies Beispiel die Fähigkeit elektiver chemischer Ausnutzung einzelner Salze, so bietet der Schalenbau der Difflugien ein Paradigma, für Auswahl von Baumaterial nach mechanischen Momenten. Als Baumaterial dienen in der Natur gröbere oder feinere Sandkörner sowie Diatomeenschalen. Oft ist nur ein einziges Material bei einer Schale verwendet, und man hat anthropomorpherweise an eine „Auswahl" des Baumaterials durch die Tiere gedacht. Der Grund liegt aber darin, daß an dem Wohnort solcher Tiere nur ein Material zur Verfügung stand. Gibt man den Difflugien nur Glassplitter, so bauen sie aus diesen ihre Gehäuse und zwar ist die Größe der Glassplitter oder Sandkörper, die Verwendung finden, durch ganz äußerliche Momente, nämlich die Enge der Gehäuseöffnung vieler Formen bedingt, die es ihnen unmöglich macht Bausteine oberhalb einer gewissen Größe ins Plasma hineinzuziehen, wie Verworn[68]) nachwies (s. Fig. 16).

Der Vorgang der Gehäusebildung selbst, der auf den ersten Blick als eine bedeutende vitale Leistung der einfachen Difflugienkörper erscheint, ist uns mechanisch verständlich gemacht durch Rhumblers[69]) vollendete Nachahmung am ganz einfachen Modell: Chloroform oder Öltropfen bauen im Wasser aus Glassplittern, Schellack, Zinoberteilchen usw., die man ihnen beimengt, Gehäuse auf, die Difflugienschalen täuschend ähnlich sind und deren Entstehung rein physikalisch auf Grund der Gesetze der Adhäsion und Kohäsion notwendig ist (s. Fig. 17).

Ob die pulsierenden Vakuolen oder Systoletten (Haeckel), die so außerordentlich weit verbreitet bei Protisten vorkommen, nur die Bedeutung

von Exkretionsorganen haben, mag fraglich bleiben. Jedenfalls lehrt die direkte Beobachtung, daß durch diese Gebilde ein starker Flüssigkeitsstrom erzeugt wird, der die Tiere durchspült.

Bei Paramaecium ist die Flüssigkeitsausscheidung so bedeutend, daß bei einigermaßen lebhafter Systolettentätigkeit in etwa dreiviertel Stunden ein Volumen ausgeschieden wird, das dem des ganzen Tierkörpers gleichkommt. Bei Spirostomum, dessen Systolette sehr viel langsamer pulsiert, sind hierzu etwa 3 Stunden nötig.

Zur Demonstration der Entleerung des Vakuoleninhaltes in das umgebende Wasser hinein schlägt Jennings[70]) die Verwendung einer feinen Aufschwemmung von chinesischer Tusche vor, in der der entleerte Tropfen sich deutlich abhebt. In dieser Weise konnte er bei Paramaecium, Nassula und Oxytricha den Prozeß beobachten (s. Fig. 18).

Weiteres über das Systolettenspiel s. unter „Reizbeantwortungen".

6. Reizphysiologie.

a) Symptomatologie.

Bei der Verwertung einzelliger Organismen zum Zweck der Lösung physiologischer Fragen macht sich häufig die Neigung geltend, in den Reizbeantwortungen spezifische Wirkungen der angewandten Reizmittel zu erblicken, vielfach, ohne daß der Versuch gemacht wird, erst einmal die spezifischen Fähigkeiten der Zellen zu analysieren.

Es scheint als stammte diese Gepflogenheit noch aus der Zeit, wo man sich die Protozoën, auch selbst die hochausgebildeten Ciliaten, als überaus einfach gebaut vorstellte, und noch keinen genügenden Einblick in die Partiarfunktionen hatte, welche so eine Zelle zu leisten vermag, aus deren Zusammenwirken erst das Bild der freilebenden Zelle resultiert, wie wir es bei den Ciliaten beobachten.

Wenn die Analyse der Symptome, durch die wir Kenntnis von den Partiarfunktionen erhalten, genügend weit geht, so gelangen wir fast überall an einen Punkt, wo ihre Veränderungen nicht mehr als qualitative erscheinen, sondern nur quantitativ nach der Plus- oder Minusseite hin erfolgen. Ist dieser Punkt erreicht, so fällt der Traum der „spezifischen Reizwirkung" ganz fort, und jeder Reiz, der überhaupt auf die fragliche Partiarfunktion einwirkt, kann nur entweder eine Steigerung oder Herabsetzung des verwandten Symptoms zur Folge haben. Anstatt spezifischer Reizwirkungen tritt uns die spezifische Energie aller lebendigen Substanz entgegen, die generelle Eigenschaft, erregt und gelähmt zu werden.

Die Unterschiede der Reizbeantwortungen liegen dann in 3 Punkten:

1. In der „Richtung" der Reizwirkung. Diese kann nach der Seite der Erregung oder Lähmung gehen.

2. In der Intensität der Wirkung, der „Erregbarkeit" gegenüber einem bestimmten Reizmittel. Manches wirkt schon in sehr geringer Intensität angewandt, ein anderes erst bei hoher Intensität.

3. In dem zeitlichen Ablauf der Wirkung, die bei manchen rasch, bei manchen sehr langsam hervortritt und auch mit sehr verschiedener Geschwindigkeit abklingt.

Nur die Symptome, welche die Chemie der lebendigen Substanz liefert, könnten uns qualitative Verschiedenheiten zeigen, alle Symptome, die der Physik der lebendigen Substanz entnommen sind: die Bewegungssymptome in allererster Linie, geben ausschließlich quantitative Verschiedenheiten.

Die Zahl der physikalischen Symptome für Reizwirkungen, die wir an Protisten feststellen können, ist in den meisten Fällen sehr gering, und jedenfalls nirgend so hoch, daß durch die Summe der Kombinationsmöglichkeiten dieser Symptome die Mannigfaltigkeit der möglichen Reize erreicht würde.

Diese Überlegung allein zeigt, daß es nicht für jeden Reiz eine spezifische Reizwirkung geben kann, daß wir vielmehr bei den aller verschiedensten Einwirkungen dasselbe Bild erhalten müssen. Da nun chemische Unterschiede als Reizerfolge bei Protisten mit den heutigen Mitteln fast nie feststellbar sind, so sind wir lediglich auf physikalische Symptome angewiesen.

Nur ganz ausnahmsweise kommt die Lichtproduktion als Reizerfolg zur Beobachtung, wie z. B. bei Noctiluca miliaris, wo auf alle möglichen Reize hin, (chemische, thermische, mechanische) ein kurzes Aufleuchten erfolgt.

Die bisher verwendeten Symptome lassen sich unter folgenden Gesichtspunkten betrachten:

1. Veränderungen des Aggregatzustandes der Zelle oder ihrer Teile.
2. Veränderungen des Lichtbrechungsvermögens der Zelle oder ihrer Teile.
3. Formveränderungen der Zelle oder ihrer Teile.

Als besondere Rubrik muß vorläufig noch eine Gruppe von Symptomen angehängt werden:

4. Veränderungen der Färbbarkeit der Zelle und ihrer Teile.
   a) In lebendem Zustande,
   b) in fixiertem Zustande.

Diese Gruppe ist ein Lückenbüsser insofern viele Reaktionen, die in ihr vorkommen, auf Veränderungen des Aggregatzustandes (z. B. infolge Veränderung der Adsorptionsbedingungen) zurückzuführen sein dürften, und also unter 1. gehörten. Inwieweit außer diesem Moment wirkliche chemische Verschiedenheiten bei den Farbstoffreaktionen und ihren Veränderungen in Betracht kommen, läßt sich zurzeit garnicht oder doch nur für einzelne Fälle entscheiden. Trotzdem sind sie als Indikatoren durchaus verwendbar, solange man ihren Wert in bezug auf die Aufklärung chemischer Verschiedenheiten nicht überschätzt.

Von den übrigen Symptomgruppen sind die

1. Veränderungen des Aggregatzustandes noch kaum als Indikatoren verwandt worden, und ihre Verwendung hat auch große Schwierigkeiten, da wir noch nicht über genügende Methoden verfügen um Änderungen in dieser Richtungen nachzuweisen. Doch liegen einige Angaben vor. So fand Kölsch,[71]) daß die „feste“ Pellikula der Ciliaten durch Druck verflüssigt wird, und daß andererseits beim Zerfließen an bestimmten Stellen Gerinnungen auftreten, also Übergang in den festen Aggregatzustand.

Aus den verstreuten weiteren Angaben, die man hier und da findet, ist nicht viel zu entnehmen.

So gibt Bokorny[72]) (S. 214) an, daß bei Einwirkung von Ammoniak in Verdünnung von 1:10000 der Infusorienleib (Paramaecium) „eine etwas

größere Starrheit“ gewinnt, ohne anzugeben, wie er dies festgestellt hat, bezw., wie sich die Starrheit äußert. Auch bei Angaben, wie sie Korentschewsky[73]) macht, z. B. die Infusorien werden „schlaff,“ das Plasma wird „eine durchsichtige glasartige Masse“, kann man sich kein genaueres Bild von den Aggregatzustandsänderungen machen.

Was die möglichen Änderungen anlangt, so kann es sich wohl wesentlich um 2 Gruppen von Vorgängen handeln:

a) Mischungen und Entmischungen,
b) Gerinnungen und Lösungen.

Durch Entmischung können Emulsionen und Schäume entstehen, die durch Mischungen wieder verschwinden können.

Der Nachweis von Gerinnungen, also von Festwerden der Zelle oder einzelner Zellteile ist durch einfache Beobachtung nicht immer zu erbringen, wenn nicht gerade die Bedingungen hierfür so günstig sind, wie z. B. bei den Zerfließungserscheinungen (s. u. Kölsch 1902).

Vielleicht können hier Methoden weiterhelfen, wie die, welche Schmaus und Albrecht[74]) zum Nachweis der Koagulationsnekrose der Nierenzellen verwandt haben.

Jedenfalls aber sind die Veränderungen des Aggregatzustandes häufig erst aus anderen Symptomen zu erschließen und nicht der unmittelbaren Beobachtung zugänglich.

2. Die Veränderungen des Lichtbrechungsvermögens sind sehr schlecht als Indikatoren verwendbar, weil wir keine genügend feine absolute, oder auch nur relative Bestimmungsmethode für die Größe dieser Werte besitzen. Man ist vielmehr auf eine sehr grobe Schätzung angewiesen, die noch dazu nur bei gleichen Beleuchtungsverhältnissen einigermaßen möglich ist.

Eine geringe Erweiterung findet dieses Symptomengebiet durch Verwertung des Vermögens der Doppelbrechung bei bestimmten Arten der lebendigen Substanz.

Alle Indikatoren, die in ausgedehnterem Maße bisher beim Studium von Protisten verwandt worden sind, sind Formveränderungen und Bewegungen der Zelle oder ihrer Teile.

Wir können vier Gruppen von Bewegungserscheinungen unterscheiden, deren Beeinflussung nach der Plus- oder Minusseite hin das Bild der verschiedenartigsten Reizwirkung zustande bringt:

Plasmabewegung,
Systolettenbewegung,
Cilienbewegung,
Myoidbewegung.

1. Die Plasmabewegung. In zwei recht verschiedenartigen Typen tritt uns die Plasmabewegung bei Protisten entgegen, als amöboide Bewegung und als Plasmaströmung im Innern einer Protistenzelle. Die letztere Bewegungsform, bei Pflanzen von so großer Verbreitung, spielt als Indikator für Reizwirkungen bei Protisten eine relativ untergeordnete Rolle. Wohl bietet Amöba blattae ein ausgezeichnetes Objekt zu ihrem Studium, und im Endoplasma der Ciliaten sind die Bahnen dieser Strömung mehrfach untersucht worden (Carchesium, s. Fig. 8, Paramaecium, s. Fig. 19), aber einen systematischen Überblick über die typischen Veränderungen sind wir zu

geben nicht in der Lage. Die Veränderungen beziehen sich wesentlich auf Beschleunigung oder Verlangsamung der Strömung, und jeder der beiden Effekte kann durch die verschiedensten Reize erzielt werden.

Bei der amöboiden Bewegung (s. Fig. 20) treten die beiden Phasen der Expansion und Kontraktion sehr deutlich hervor und sind als Indikatoren von Reizwirkungen sehr gut zu verwenden.

Die Pseudopodien, an deren Formänderungen der Reizeffekt am feinsten zum Ausdruck kommt, können fadendünne Plasmastränge sein, wie z. B. bei

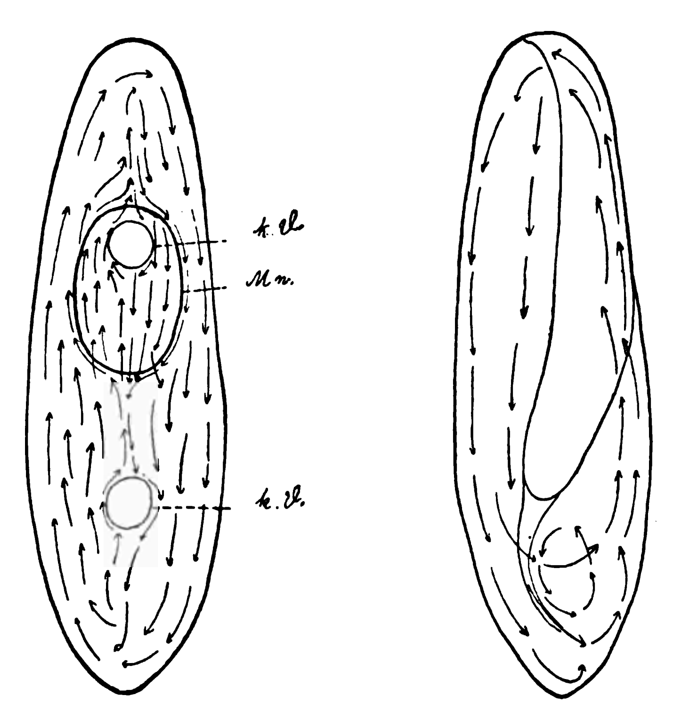


Fig. 19. Endoplasmastörungen von Paramaecium. Dorsal- und Ventralansicht. Mn. Macronucleus; k.V. kontraktile Vakuole. (Nach Wallengren.)

marinen Foraminiferen und unter Süßwasserformen etwa bei Cyphoderia, Lieberkühnia u. a., oder breite, bruchsackartige Vorstülpungen von hyalinem Plasma, wie bei Amöba limax oder Pelomyxa palustris. An beiden macht sich kontraktorische Erregung durch Einziehen, expansorische durch Ausstrecken bemerkbar. Bei der Kontraktion häuft sich in den fadenförmigen Pseudopodien das Plasma zu kleinen Knötchen an, die dem gereizten Pseudopod ein sehr charakteristisches Aussehen geben (s. Fig. 21, Amphistegina lessonii).

Nicht einheitlich deutbar ist der Zustand der völligen Abkugelung nach Einziehung aller Pseudopodien. Es kann dies sowohl der Ausdruck maximaler kontraktorischer Erregung wie völliger Lähmung eventuell des Todes sein.

2. Systolettenbewegung. Die Bewegungserscheinungen pulsierender

Vakuolen sind etwas für die Mehrzahl der Protisten äußerst charakteristisches. Es handelt sich um kleine mit Flüssigkeit gefüllte Bläschen, deren Inhalt in rythmischen Intervallen durch Kontraktion des umgebenden Plasmas, meist durch eine vorgebildete Öffnung ins umgebende Medium entleert wird.

Die Systoletten können in der Ein- oder Mehrzahl vorkommen und verschiedenartige Gestalt haben.

Über die mancherlei Veränderungen, die man an einem gut ausgebildeten Systolettensystem wahrnehmen und als Reizbeantwortungen verwenden kann, orientiert wohl am besten eine etwas eingehendere Darstellung der Verhältnisse bei Paramaecium.

Bei Paramaecium sind zwei Systoletten vorhanden, die im Endoplasma, dicht unter dem Ektoplasma liegen, die eine im Vorderende, die andere im Hinterende. Schon dies Verhältnis kann eine Veränderung erfahren, die Zahl kann unter der Einwirkung von Reizen vermehrt werden. So kann

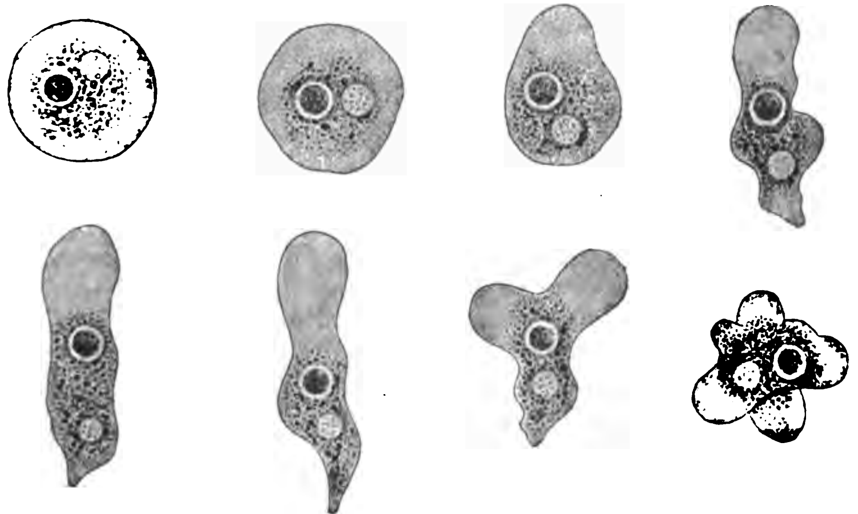


Fig. 20. Eine Amöbe in verschiedenen Formstadien beim Kriechen. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

eine dritte Systolette in völlig typischer Ausbildung mitten zwischen vorderer und hinterer entstehen, oder es können sich an Stelle der normalen vorn und hinten je zwei Systoletten bilden.

Jede Systolette besteht aus der pulsierenden Vakuole und den Zuführungskanälen. Die letzteren werden meist als radiär beschrieben, was nicht ganz zutreffend ist. Wenn man genauer darauf achtet, so ergibt sich, daß ein einfach geradliniger Verlauf die Ausnahme ist, meist sind sie mehr oder minder stark gebogen. Es geht dies sehr deutlich aus Fig. 23 hervor.

Die gewöhnliche Zahl der Kanäle ist 7, ihre Länge scheint erheblich zu variieren, doch ist es im einzelnen Falle oft schwer, das Ende genau anzugeben, da allerhand Plasmaeinlagerungen eine Verfolgung unmöglich machen.

Nicht selten kommen Tiere zur Beobachtung, die 10, ja 12 Zuführungs-

kanäle zeigen, und zwar macht es den Eindruck, als läge hierin eine Reizwirkung, nicht einfach ein Ausdruck der Variabilität vor.

Der Vorgang der Bildung und Entleerung der Systolette erfolgt bei frischen Tieren so rasch, daß es schwer ist, Details zu sehen. Es gelingt aber bei Benutzung von Tieren, die schon einige Zeit unter dem Deckglas gelegen haben, eventuell leicht gedrückt sind, die verlangsamten Vorgänge genauer zu verfolgen. Der ganze Zyklus läßt sich in 6 Phasen darstellen, wie dies in Fig. 22 geschehen ist.

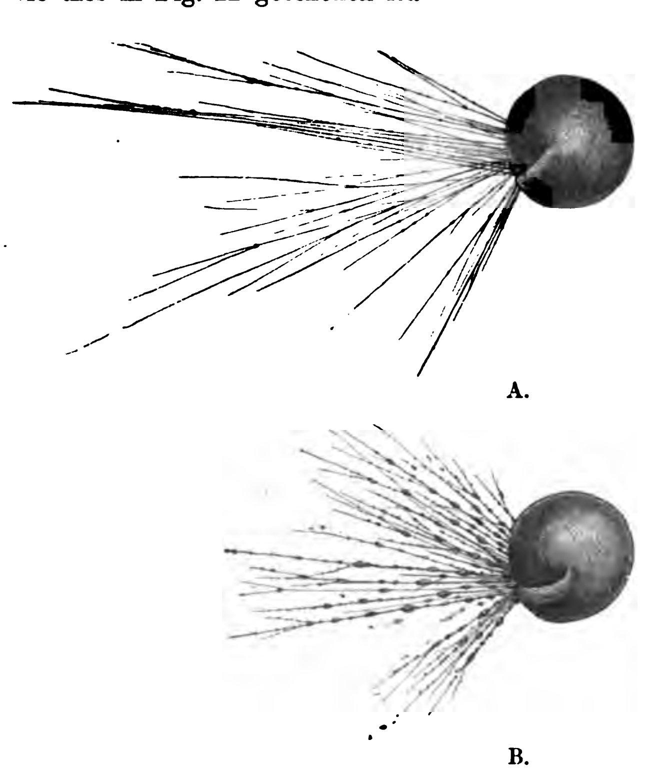


Fig. 21. Amphistegina lessonii. A. Ungereizt mit feinen fadenförmigen Pseudopodien; B. in Chloroformnarkose, die Pseudopodien haben sich kontrahiert und zeigen knötchenförmige Anschwellungen. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Figur 22, 1 stellt die Systolette unmittelbar vor der Entleerung dar. Die Vakuole hat ihre typische Größe erlangt und ist von einer Wand begrenzt, die heller erscheint als das umliegende Plasma. Diese Wand wird fast berührt von den Zuführungskanälen, deren proximale Enden stark kolbenförmig angeschwollen sind, und deren Lumen weithin deutlich zu erkennen ist. In diesem Zustande der Diastole verharrt das System eine oder einige Sekunden, dann wird plötzlich die helle Wandzone der Vakuole breiter und glänzender, ein sicheres Zeichen, daß im nächsten Augenblick die ruckartige Entleerung erfolgt.

Figur 22, 2 zeigt den Zustand im Moment nach der Entleerung der Vakuole: der Raum zwischen den angeschwollenen Enden der Kanäle ist kleiner geworden, die Kanalenden, die als Bildungsvakuolen fungieren, sind in der Richtung der Pfeile (Fig. 22, 2) vorgerückt und ihr Volumen hat gegen Fig. 22, 1 noch zugenommen, es hat sein Maximum erreicht. Im nächsten Moment beginnt die Vereinigung der Bildungsvakuolen, wie sie durch Fig. 22, 3 und 4 dargestellt wird. Die proximalen Enden der Bildungsvakuolen fließen zusammen, die distalen Teile entleeren sich in proximaler Richtung und werden dementsprechend kürzer und dünner. Es entstehen einige größere Bildungsvakuolen, z. B. zwei wie Fig. 22, 3 es zeigt. Dann

reißt die Scheidewand dieser beiden auch ein und das Stadium Fig. 22, 4 ist erreicht, auf dem die Vakuole ihr volles Volumen, aber noch eine unregelmäßige Gestalt hat.

Auf Stadium 3 und 4 ist die Begrenzung der neugebildeten Vakuole gegen das Plasma durch keine besondere Differenzierung des letzteren mar-

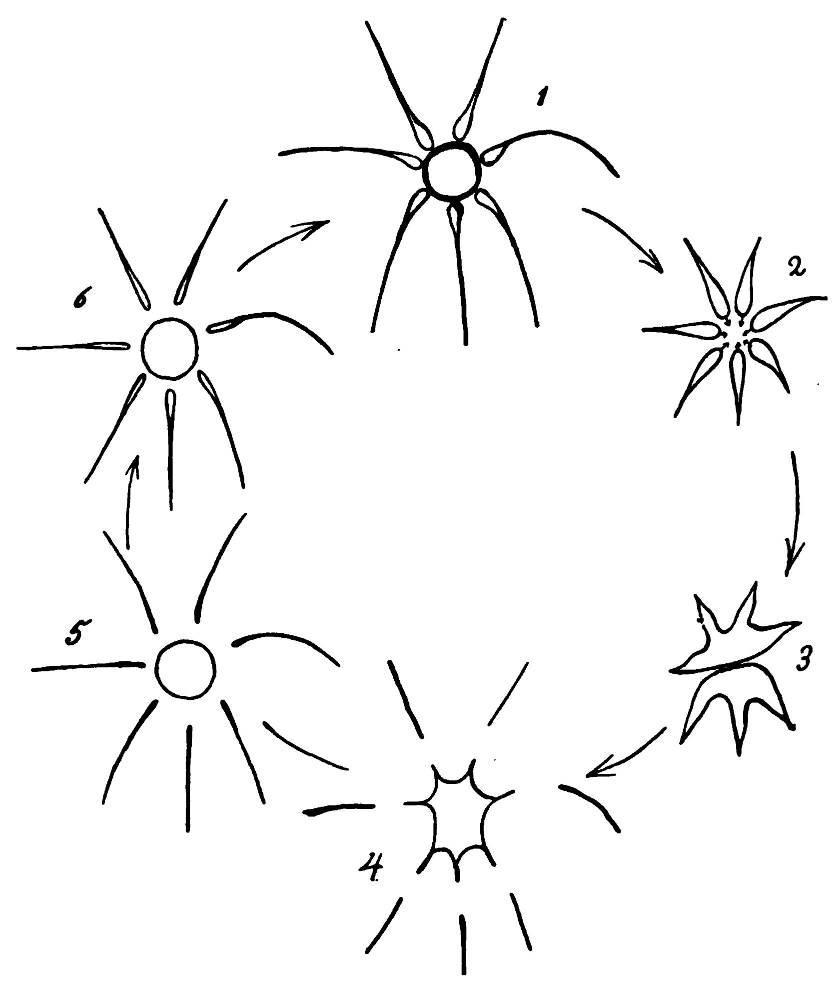


Fig. 22. Die verschiedenen Formen der Systolette von Paramaecium während einer Entleerungsperiode. Erklärung im Text.

kiert, erst in dem Augenblick, wenn die unregelmäßig, verzerrt aussehende Vakuole (Fig. 22, 4) sich abkugelt, die Form Fig. 22, 5 annimmt, tritt die erwähnte stärker lichtbrechende Wandsubstanz in die Erscheinung.

Die Phase 5 ist dadurch ausgezeichnet, daß die Bildungsvakuolen und Zuführungskanäle, durch deren Zusammenfluß die Vakuole entstand, verschwunden sind, so daß die Vakuole von einer Zone umgeben ist, in der

keine Kanäle bestehen. Diese bilden sich vielmehr distal wieder neu, wie Fig. 22, 5 zeigt.

Phase 6 zeigt nur darin einen Fortschritt gegen 5, daß die Kanäle länger geworden, ihre proximalen Enden der Vakuole näher gekommen, und gleichzeitig etwas angeschwollen sind, zu den Anfängen der Bildungsvakuolen. Die Veränderung, durch welche Phase 6 in Phase 1 übergeht, ist ohne weiteres ersichtlich und damit der Kreis der Veränderungen geschlossen.

Bemerkt werden muß nur noch, daß von Phase 5 bis Phase 1 eine Vergrößerung der Vakuole erfolgt, die nicht durch Flüssigkeitsentleerung aus den Zuführungskanälen bedingt ist, sondern ihren Grund in direkter Aufnahme von Flüssigkeit aus dem umgebenden Plasma haben muß.

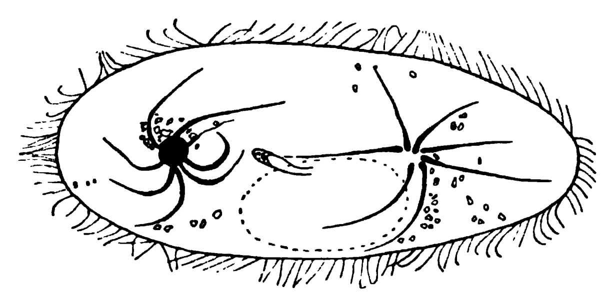


Fig. 23. Paramaecium mit seinen Systoletten und deren Zuführungskanälen.

Ein so vielgestaltiger Vorgang kann natürlich auch in mannigfacher Weise in seinem Ablauf verändert werden. Wir können unterscheiden:

1. Veränderungen an den Zuführungskanälen: Daß deren Zahl zunehmen kann, wurde schon erwähnt, ob sie vielleicht auch abnehmen kann ist unbekannt. Außerdem aber können die Kanäle abnorm breit und lang, dilatiert sein und es kann die Entleerung in proximaler Richtung unvollkommen sein, so daß die Kanäle dauernd mit deutlich erkennbarem Lumen bestehen.

2. Veränderungen der Bildungsvakuolen: Wie aus der Darstellung des normalen Vorganges der Systolettentätigkeit hervorgeht, stellen die Bildungsvakuolen eigentlich nur Auftreibungen der proximalen Enden der Zuführungskanäle dar. Dieser Zustand kann eine Veränderung erfahren, indem die Bildungsvakuolen wirklich als solche imponieren, die sich scharf gegen die Kanäle absetzen und mehr oder minder Kugelgestalt annehmen. Als weitere Abnormität können diese Bildungsvakuolen längere Zeit bestehen bleiben.

3. Veränderungen der Vakuole selbst. Diese können sich beziehen:
   a) auf den Bildungsvorgang,
   b) auf das diastolische Volumen,
   c) auf den Entleerungsvorgang.

Die Bildung, die normalerweise sehr rasch vor sich geht, kann durch alle möglichen Reize verlangsamt werden, es können Teilvakuolen in verschiedener Zahl und mannigfacher Form lange bestehen bleiben.

Das diastolische Volumen kann abnorm groß oder abnorm klein sein, wobei in beiden Richtungen erhebliche Variationen zur Beobachtung gelangten. Was den Entleerungsvorgang anlangt, so erfolgt auch er sehr rasch, kann aber unter Reizwirkungen sehr verlangsamt werden. Wie schon Joseph und Prowazek (1902) erwähnen, und ich bestätigen kann, dauert er mitunter 1 bis 2 Sekunden. Auch unvollständige Entleerungen kommen vor, denen dann gelegentlich nach wenigen Sekunden die Entleerung des Restes folgt (vgl. auch Joseph und Prowazek (1902).

Endlich bleibt als äußerst wichtige Veränderung noch die des Rhythmus zu erwähnen.

Die Angaben über Systolettenrhythmus, die bisher vorliegen, beziehen sich durchgängig auf den Rhythmus der eigentlichen Vakuole und die Masse der folgenden Beobachtungen bezieht sich auch hierauf. Es muß aber besonders betont werden, daß dieser Rhythmus durchaus nicht identisch ist mit dem der Zuführungskanäle. Normalerweise entfällt ja auf jede Entleerung der Kanäle auch eine Entleerung der zentralen Vakuole, aber diese Übereinstimmung ist keine notwendige. Bei verlangsamtem Vakuolenrhythmus kann man vielmehr sehr häufig beobachten, daß sich die Kanäle zweimal in proximaler Richtung entleeren, wodurch natürlich die zentrale Vakuole ein dementsprechend größeres Volumen erhält. Ihre Entleerung tritt dann erst kurz nach der zweiten Entleerung der Kanäle ein. Bei so riesig vergrößerten Vakuolen, wie man sie gelegentlich zu sehen bekommt, werden sogar wohl noch mehr als zwei Entleerungen der Kanäle erfolgen, die zu enormer Dilatation der Vakuole führen müssen, wenn diese bereits unfähig geworden ist, sich zu entleeren.

Die Veränderungen des Rhythmus der zentralen Vakuole sind mehrfach als Indikatoren für Reizwirkungen benutzt worden.

Durch alle Reize, die überhaupt auf die Vakuolenfrequenz einwirken, kann natürlich nur entweder eine Beschleunigung oder eine Verlangsamung bewirkt werden. Um beide konstatieren zu können, muß die normale Entleerungsfrequenz bekannt sein.

Joseph und Prowazek (1902) haben schon hervorgehoben, daß sich alle die bisherigen Angaben nicht als allgemeingültig erwiesen haben.

Wie außerordentlich variabel die Entleerungsfrequenz schon bei Tieren ist, die als völlig normal erscheinen, dafür will ich einige Beispiele geben. Die Angaben beziehen sich stets auf Tiere, die frisch der Kultur entnommen sind und die unter dem Deckglas nicht gedrückt, sondern noch freier Bewegung, allerdings in einer sehr dünnen Wasserschicht, fähig waren.

Wenn man die Zeit von je 10 aufeinander folgenden Entleerungsperioden als Ausdruck der Frequenz betrachtet, so ergeben sich folgende Zahlen:

		Vordere S.	Hintere S.
Tier	I	69	71
„	II	77	131
„	IV	80	—
„	V	163	197
„	VI	217	235
„	VII	222	265
„	VIII	318	398.

Die mittlere Entleerungsfrequenz würde also zwischen 6,9 Sekunden und 39,8 Sekunden schwanken. Aber diese Art der Darstellung gibt noch kein genügendes Bild von der außerordentlichen Variabilität des Systolettenrhythmus. An demselben Tier, an derselben Systolette beobachtet man unter scheinbar ganz gleichen Außenbedingungen sehr verschiedene Frequenzen. So zeigt die hintere Systolette von Tier V Entleerungsfrequenzen von 34 und 36 Sekunden, andererseits einige Schläge später solche von 15 und 16 Sekunden.

Den bedeutendsten Einfluß auf die Systolettenfrequenz hat entschieden die Temperatur.

Qualitativ war dies durch Roßbachs[75]) Untersuchungen schon bekannt, M. Kanitz[76]) zeigte, daß man, für einige Formen in ziemlich weiten Intervallen, die Pulsationsgeschwindigkeit als eine Exponentialfunktion der Temperatur darstellen kann. Bei einer Temperaturerhöhung um 10° wächst die Pulsationsgeschwindigkeit ungefähr auf das Doppelte. Der Faktor Q_{10}, der die Steigerung für 10° angibt, beträgt z. B. für Euplotes Charon zwischen 5° und 24° 1,65. Die folgenden Zahlen, nach Kanitz, zeigen einige Fälle, bei denen die Werte für Q_{10} in ziemlich weitem Temperaturintervall nahe bei 2 liegen, zeigen aber gleichzeitig auch, wie erhebliche Abweichungen von dieser, nach der einfachen chemischen Kinetik zu erwartenden Reaktionsbeschleunigung, vorkommen.

Temp.	Entleerungsdauer in Sekunden	Q_{10}
	Euplotes Charon.	
5°	61,5	
		1,65
10°	48	
		1,7
20°	28	
		1,6
24°	23,5	
30°	23	
	Stylonychia pustulata.	
5°	18	
		1,65
10°	14	
		2,15
20°	6	
		1,8
27°	4	
30°	4	
	Glancoma colpidium.	
3°	110	
		7
7°	50	

Temp.	Entleerungsdauer in Sekunden	Q_{10}
		13
9^0	30	
		3,0
19^0	10	
		1,7
27^0	6,5	
		1,6
30^0	5,5	

Jedenfalls bedeutet die Einsicht, daß die Wirkung einer Temperatursteigerung dieser nicht linear proportional ist, sondern nach einem Exponentialgesetz erfolgt einen wesentlichen Fortschritt zur Analyse der Temperaturwirkungen.

Außer der Temperatur beeinflussen aber offenbar noch eine Reihe anderer Faktoren den Rhythmus.

So ist die Frequenz häufig bedeutend herabgesetzt, wenn die Tiere thigmotaktisch an einem festen Körper haften (Pütter 1900; Provazeck 1901), während Berührung der Cilien mit der Oberfläche einer Luftblase die Frequenz bedeutend erhöht (Pütter 1904).

3. Cilienbewegung. Die Cilien dienen in den meisten Gruppen der Protozoen als Fortbewegungsorganellen, teils in Form einzelner oder weniger Geißeln, teils als dichter Cilienbesatz, teils auch zu größeren Verbänden vereinigt, als Cirren und Membranellen.

Die Bewegungsformen sind recht mannigfaltig und bieten eine Reihe von Veränderungen, die als Zeichen von Reizwirkungen dienen können.

Im übersichtlichsten Falle, wenn die Bewegung nur in einer Ebene vor sich geht, besteht sie in einer Kontraktionsbewegung in der Richtung des Hauptschlages und einer Expansionsbewegung, durch die die Ruhelage wieder erreicht wird.

Hierbei ist in erster Linie die Frequenz und die Amplitude des Ausschlages variierbar.

Leider ist eine genaue Analyse der verschiedenartigen Beeinflussungen bisher nicht gemacht, sondern als Indikatoren der Cilienbewegung ist im allgemeinen die Schwimmgeschwindigkeit verwandt, oder die Strömung feiner Tuschekörner (Jennings), die dem Präparat beigegeben werden. In beiden Fällen beobachtet man die algebraische Summe verschiedener Wirkungen. Die Schwimmgeschwindigkeit ist bedingt durch die Differenz der Geschwindigkeit der kontraktorischen und expansorischen Bewegungen der Wimpern, sowie durch die Ruhelage der Cilien, die in bezug auf den Körper nicht stets dieselbe zu sein braucht und dasselbe gilt für die Körnchenströmung. Wird vollends die Koordination in den einzelnen gleichartigen Ciliengruppen gestört, so gaben Schwimmgeschwindigkeit und Körnerströmung gar keinen Anhalt über die wirklichen Veränderungen der Cilienbewegung, die nur durch direkte Beobachtung ermittelt werden kann.

Von den möglichen Beeinflussungen der Bewegungsapparate kommen bei den einzelnen Formen ganz bestimmte feste Kombinationen in besonderer Häufigkeit vor und bedingen höchst charakteristische Bewegungen, die immer

wieder zur Beobachtung kommen und sich aus der Art des Zusammenwirkens der verschiedenen Bewegungsorganellen und der Körperform des Organismus mit Notwendigkeit ergeben.

Jennings bezeichnet diesen Bewegungskomplex als „Motorreflex“ und hat ihn bei einer Reihe von Protisten analysiert.

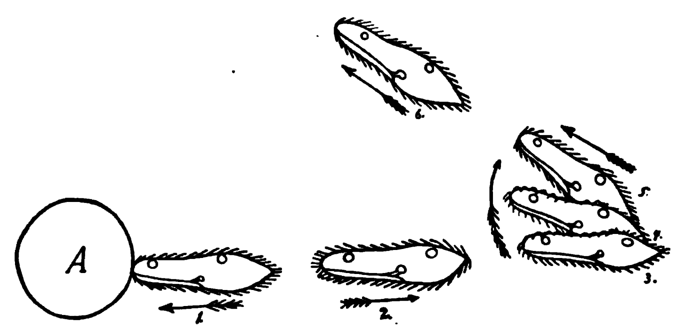


Fig. 24. Reaktion von Paramaecium auf einen Berührungsreiz hin. (Nach Jennings.)

Das Wesentlichste ist hierbei die ein- oder mehrmalige Umkehr der Richtung des Hauptschlages bestimmter Ciliengruppen (s. Fig. 24); z. B. schlagen bei Paramaecium auf die verschiedensten Reize hin die Körpercilien für einige Augenblicke so, daß ihr Hauptschlag nach vorne gerichtet ist, wodurch das Tier rückwärts schwimmt. Infolge seines asymmetrischen Baues, und da außerdem die Peristomwimpern die Schlagumkehr nicht mitmachen, geht die Bewegung nicht genau rückwärts, sondern das Tier dreht sich gleichzeitig nach der dem Peristom abgewandten Seite hin.

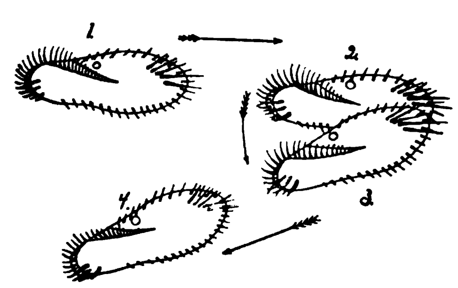


Fig. 25. Reaktion von Oxytricha auf einen Reiz. (Nach Jennings.)

In ähnlicher Weise, nämlich dadurch, daß bestimmte Ciliengruppen, besonders die Peristomcilien, keine Schlagumkehr erleiden, kommen auch bei anderen Formen: Spirostomum, Stylonychia, Oxytricha (s. Fig. 25) derartige Bewegungsformen zustande. Sehr auffällig erscheint bei Stylonychia mytilus eine Form der Reizbeantwortung, bei der die Tiere rückwärts im Kreise laufen (s. Fig. 26). Sie kommt lediglich dadurch zustande, daß die Umkehr der Hauptschlagrichtung der Cilien des Körperrandes und der Laufwimpern länger anhält, als bei einem einfachen „Motorreflex“, denn da die Peristomwimpern ihre normale Schlagrichtung beibehalten, muß ein „Rückwärtslaufen im Kreise“ zustande kommen.

Eine besonders auffällige Art der Reizbeantwortung sind die taktischen Erscheinungen bei Protisten. Auf einseitige, oder einseitig überwiegende Reize hin bewegen sich die Tiere in ausgesprochener Weise zur Reizquelle hin (positive Taxis) oder von der Reizquelle weg (negative Taxis) oder

nehmen endlich eine quere Lage gegen die Richtung der äußeren Einwirkung an (transversale Taxis). Die eingehenden Analysen dieser Bewegungsvorgänge, die Verworn, Jensen, Ludloff, Pütter, Wallengren u. a. geliefert haben, lassen deutlich erkennen, daß es sich hierbei nicht um spezifische Reizwirkung handelt, sondern lediglich um bestimmte Kombinationen der oben angeführten Reizwirkungen auf die Ciliatenbewegung. Bei der Analyse der taktischen Reizerscheinungen und des Mechanismus der Anhäufungen von Tieren an Stellen bestimmter Reizintensität, sind die Eigen-

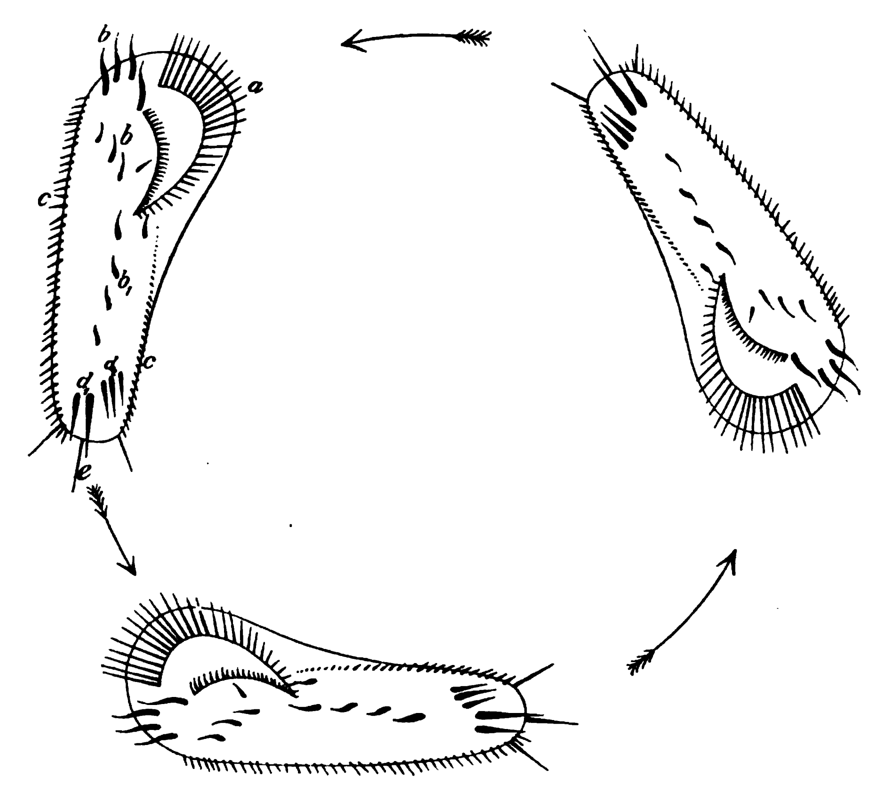


Fig. 26. „Rückwärtslaufen im Kreise" bei Stylonychia mytilus. Ein Reizeffekt, der durch die spezielle Kombination der Bewegungsorganellen bei verschiedenen Reizen zustande kommt.

tümlichkeiten der Schwimmbewegungen der Objekte besonders zu berücksichtigen, wie sie z. B. Figur 27 für Paramaecium zeigt.

Auf die Einzelheiten der Bewegungsanalyse kann hier nicht eingegangen werden, es sei nur erwähnt, daß die scheinbar von dem gewöhnlichen Modus der polaren Erregung der Protisten so abweichenden Formen der transversalen Galvanotaxis (Pütter für Stylomychia) und anodischen (Wallengren für Opalina) als Folgen bestimmter Kombinationen von äußeren Bedingungen analysiert werden konnten, bei denen das für Protisten anscheinend allgemein gültige Gesetz der polaren Erregung selbst keine Ausnahme erfährt.

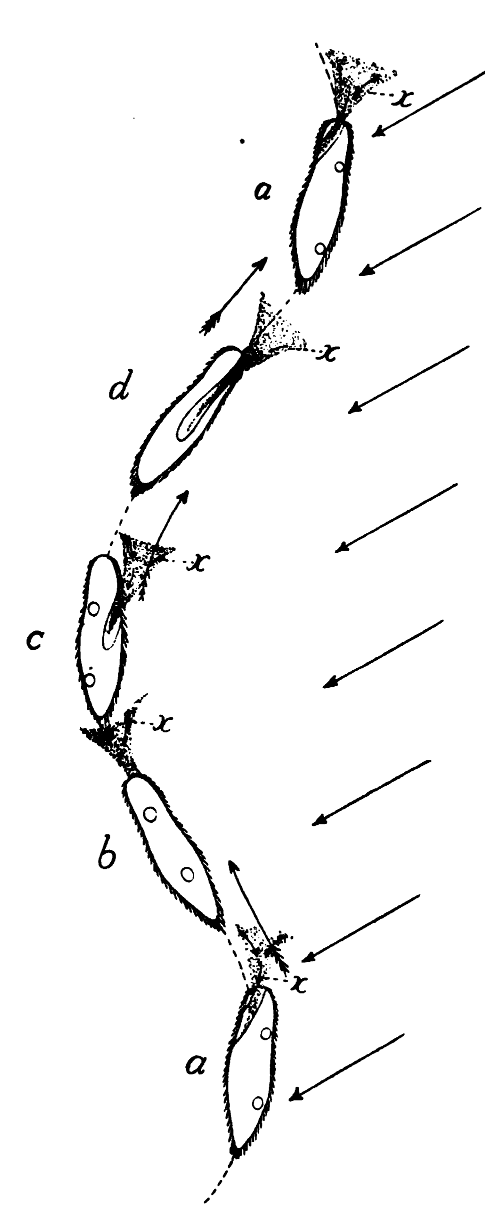


Fig. 27. Schwimmbahn von Paramaecium auf die Ebene projiziert; bei x ist der Strudel, den der Schlag der Peristomwimpern erzeugt, angedeutet. Die Pfeile zeigen, welche verschiedenen Stellungen Paramaecium infolge seiner eigenartigen Bewegungsbahn gegen einen Reiz bestimmter Richtung nacheinander einnimmt. (Nach Jennings.)

4. Myoidbewegung. Die Myoidbewegung kommt bei Protisten mehrfach vor. So unter den Flagellaten, z. B. bei Poteriodendron und unter den Ciliaten bei Spirostomum, Stentor und einigen Vorticellinen. Die Reizbeantwortung besteht stets in einer Kontraktion der Myoneme, die meist auch bei dauernder Reizung nur eine vorübergehende ist.

Sehr charakteristisch ist in dieser Hinsicht das Stielmyoid von Vorticella, das sich auf Reize hin spiralig aufrollt (s. Fig. 28). Ist nur ein Myoid vorhanden, so ist das Bild der Erregung stets dasselbe, gleichviel wodurch es induziert ist, sind dagegen mehrere Myoide vorhanden, so können physiologische Verschiedenheiten bestehen und durch verschiedenartige Beeinflussung einzelner Gruppen können eine Reihe von verschiedenen Bildern der Reizwirkung zustande kommen.

Als Beispiel mag Spirostomum dienen. Hier sind über den ganzen Körper zwei Systeme von Myonemen verteilt, eine Längsschicht und eine Ringschicht und außerdem begrenzen zwei besonders stark entwickelte Myoneme das Peristom (Maier[77] 1902).

Da die drei Systeme in ihrem Kontraktionszustande relativ unabhängig voneinander sind, können ganz verschiedene Bilder zustande kommen, wie sie a. a. O. analysiert sind[78]).

Physiologisch charakteristisch für die Myoneme ist zunächst ihre Zuckungsfrequenz: Reizt man durch Klopfen auf die Gaskammer (s. u.) die Myoide mechanisch und läßt den neuen Reiz erst dann einwirken, wenn eben volle Streckung nach der vorigen Reizkontraktion

erfolgt ist, so erhält man die Zahl der Zuckungen, die zu einer bestimmten Zeit z. B. 30 Sekunden möglich sind. Für Spirostomum fanden sich Werte zwischen 18,2 und 27,3 je nach dem Zustand der Tiere. Bei Tieren in gleichem physiologischem Zustande sind die Werte sehr konstant und ihre Veränderung kann daher leicht als Indikator von Reizwirkungen dienen.

Setzt man diese Art der Reizung längere Zeit fort, z. B. etwa 100 Zuckungen ohne Unterbrechung, so tritt Ermüdung ein, die sich darin äußert, daß die Zuckungsfrequenz um 30 bis 50 Proz. abnimmt. Werden die Einzelreize rascher appliziert, als daß volle Streckung dazwischen erfolgen könnte, so tritt eine mehr oder weniger vollständige Dauerkontraktion ein. Die Reizfrequenz bei der volle Dauerkontraktion einsetzt ist sehr konstant; bei 110 Reizen pro Minute bestehen noch Spuren von Streckungen zwischen den einzelnen Kontraktionen, bei 120 Reizen ist nichts derartiges mehr zu erkennen.

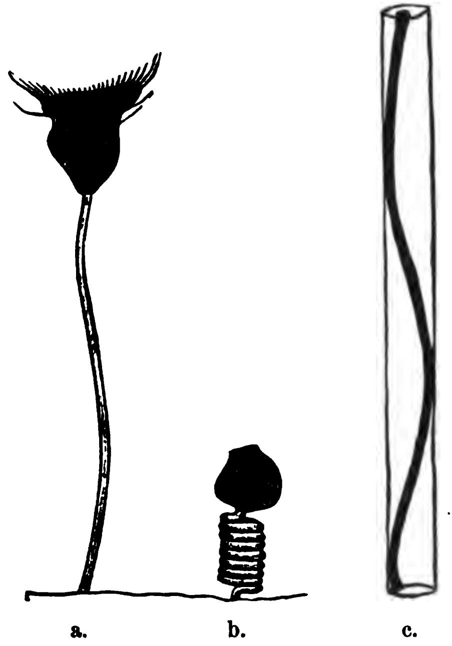


Fig. 28. Vorticella. a. Totalansicht in gestrecktem, b. in kontrahiertem Zustande. c. Der Stiel mit dem Myoid stärker vergrößert. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Auf länger dauernde tetanische Reizung hin (2—3 Reize pro Sekunde) werden die Tiere wiederum ermüdet und es erfolgt mehr oder weniger vollständige Streckung trotz fortdauernder Reizung. Es bildet sich hier ein langdauerndes Refraktärstadium aus, das bei Tieren von besonders geringer Erregbarkeit schon nach einem Einzelreiz nachweisbar ist, indem von einer Reihe schwacher Reize stets nur der dritte, vierte, fünfte oder noch seltener einer wirksam ist. Was den Umfang der Kontraktionen anlangt, so sind sie für Einzelreize und tetanische Reize gleich groß, es erfolgt keine Summation der Wirkung, vielmehr löst jeder Reiz, der überhaupt wirkt, maximale Kontraktionen aus („Alles oder Nichts").

Sehr auffällig ist beim Studium der Reizerfolge am Myoidsystem die Neigung zu rhythmischen Reizbeantwortungen, die häufig auf konstante Reize hin erfolgen. Solche Rhythmenbildung wird beobachtet, wenn die Tiere in ein Gemisch gleicher Teile Kulturflüssigkeit und 0,8 Proz. NaCl-Lösung gebracht werden, oder bei Zusatz schwacher Lösungen von Magnesiumsulfat. Die von Biedermann beschriebene Salzlösung, in der der Skelettmuskel rhythmische Kontraktionen zeigt, löst keine besonders typischen Reihen von Rhythmen aus.

Auch ohne künstliche Reizung treten solche rhythmischen Zuckungen manchmal in sehr auffallender Weise an Spirostomum (und Lacrimaria) auf. Sie scheinen völlig spontan zu sein, aber die Beobachtung, daß nur Tiere,

die umherschwimmen, die Erscheinung zeigen, während sie bei denselben Tieren sofort aufhört sobald sie etwa thigmotaktisch geworden sind und so zu schwimmen aufgehört haben, erlaubt wohl die Deutung, daß es die Reibung der Cilien am Wasser bei der Fortbewegung ist, die als konstanter, schwacher Reiz wirkt und einen Erfolg auslöst, der rhythmisch ist, infolge des relativen Refraktärstadiums, das jeder Zuckung folgt (s. o.).

Symptome der Überreizung. Jeder Reiz, der über eine gewisse Stärke und Dauer hinaus gesteigert wird, ruft endlich den Tod der Organismen hervor. Bevor dieser eintritt gehen häufig Prozesse vor sich, die als Symptome der Überreizung, der Schädigung durch zu starke Reize anzusehen sind, und als solche methodisches Interesse haben. Bei Ciliaten Infusorien ist es zunächst eine taumelnde Bewegung, bei der die Tiere wenig von der Stelle kommen, die dadurch erzeugt wird, daß die Körpercilien fast schon gelähmt sind, während die widerstandsfähigeren Gebilde der Peristomregion noch lebhaft schlagen, dadurch kommt das Umherkreiseln auf der Stelle zustande.

Als weiteren Erfolg sehr starker Reize kommt es zum Ausschleudern der Trichozysten und endlich beginnt, oft unter vorhergehender starker Formänderung des ganzen Körpers, das Zerfließen[79]. Unter den Gestaltsänderungen ist die „Zipfelbildung" am Hinterende von Paramaecium eine besonders charakteristische und oft beschriebene Erscheinung.

Auch diese, für jede Überreizung bezeichnenden Symptomkomplexe sind aus Unkenntnis ihrer allgemeinen Verbreitung oft als „spezifische" Reizerfolge beschrieben worden.

b) Technik der Reizversuche.

1. Mechanische Reize. Um Berührungsreize auf Protisten wirken zu lassen, bedarf es meist keiner besonderen Hülfsmittel, denn die mancherlei Verunreinigungen, Detritusballen, Bakterienhaufen usw., mit denen gewöhnlich die Untersuchungsobjekte vermengt sind, geben genug Flächen, Ecken und Spitzen ab, an denen Berührung erfolgen und als Reiz wirken kann. Bei derartigen Berührungsreizen ist es aber nicht ausgeschlossen, daß gleichzeitig die chemische Beschaffenheit der berührenden Körper als Reiz wirkt, und so ist es für einwandfreie Versuche besser, die Tiere gut zu reinigen (s. o.) und dann Fasern von Filtrierpapier, die als chemisch indifferent anzusehen sind, den Präparaten beizufügen. Den Reizerfolg der totalen Thigmotaxis den man in solchen Fällen zu sehen bekommt, zeigt Fig. 29.

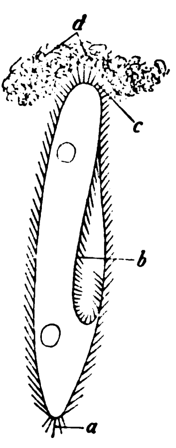
Als weitere Form des mechanischen Reizes kommt die generelle Erschütterung in Betracht, die man in primitiver Weise durch Klopfen auf den Objektträger erreichen kann. Etwas besser läßt sich diese Art des Reizes applizieren, wenn man im hängenden Tropfen beobachtet, und das Deckglas auf eine Gaskammer (s. S. 24) auflegt. Klopft man auf die Gaskammer, so werden die Erschütterungen stärker und sind auch ziemlich gleichmäßig zu erhalten. Auch zur Erteilung längerer Reihen von Reizen ist diese Methode empfehlenswert, wobei die Stöße, falls sie in gleichen Intervallen erfolgen sollen, nach dem Takt eines Metronoms erteilt werden können.

Einen Apparat, der in gleichmäßigerer Weise abstufbare mechanische

Reize erteilte, besitzen wir nicht. Bei frequenten Reizen (2—3 pro Sekunde) zeigt sich bald ein Unwirksamwerden einer Reihe von Reizen, oder, falls das gereizte Gebilde dazu fähig ist, eine Dauererregung.

Mechanische Reize von hoher Frequenz bei geringer Massenbewegung, wie die akustischen Reize sie darstellen, scheinen im allgemeinen unwirksam für Protisten zu sein.

Eine besondere Form des mechanischen Reizes wird durch strömendes Wasser ausgeübt. In einer Röhre eine geeignete Strömungsgeschwindigkeit herzustellen, die die Objekte nicht mechanisch mitreißt, aber doch stark genug ist als Reiz zu wirken, ist Jennings[80]) in der Weise gelungen, daß er eine Glasröhre in der Mitte eine Strecke weit dünn auszog und in diesem Teil die Paramaecien brachte. Beide Röhrenenden werden mit kleinen Gummikappen geschlossen, wie man sie für Pipetten verwendet und nun durch Druck auf die eine das Wasser mit verschiedener Geschwindigkeit durch den verjüngten Teil der Röhre gedrückt (s. Fig. 30). Bei einer gewissen Geschwindigkeit orientiert sich die Mehrzahl der Paramaecien gegen den Strom und schwimmt in dieser Richtung. Sehr gut gelingt es langsame gleichmäßige Strömungen herzustellen, wenn man zwei verschieden hochstehende Wassergefäße durch Streifen von Filtrierpapier in Verbindung setzt, in denen beständig ein Strom vom höheren zum niedern läuft, eine Anordnung, die für das Studium der Rheotaxis bei Mycetozoën sehr geeignet ist (Stahl).



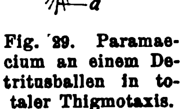
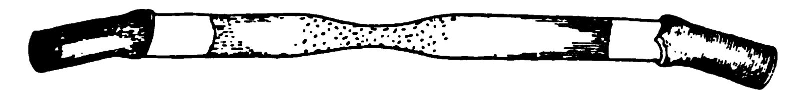

Fig. 29. Paramaecium an einem Detritusballen in totaler Thigmotaxis.


Fig. 31. Negative Geotaxis von Paramaecium. (Nach Jensen u. Verworn.)


Fig. 30. Anordnung zur Demonstration negativer Rheotaxis bei Paramaecium. (Nach Jennings. Erklärung im Text.)

Als Schwerkraft wirken mechanische Reize dauernd auf alle Organismen ein, sobald sie ihre Orientierung gegen die Lotrichtung verändern. Dieser Reiz ist in hervorragender Weise ein ordnender, wie die verbreiteten Erscheinungen der Geotaxis zeigen (s. Fig. 31). Im Experiment kann man, wie Jensen gezeigt hat, die Schwerkraftwirkung durch Zentrifugalwirkung ersetzen.

Zur Entscheidung der Frage, ob eine Ansammlung von Organismen am obersten oder untersten Ende einer Wassersäule als negativ oder positive Geotaxis anzusehen ist, müssen alle anderen Reizquellen ausgeschaltet werden, z. B. Bakterienanhäufungen am Grunde eines Glases, durch die chemotaktisch eine Ansammlung anderer Protisten, z. B. Paramaecien verursacht sein könnte.

Das Licht kann gleichfalls ähnliche Anhäufungen hervorrufen, weshalb totale oder partielle Verdunkelung des Versuchsgefäßes nötig sein kann. Auch an die Sauerstoffspannung, die von der Oberfläche nach der Tiefe abnimmt, ist als Reiz zu denken. Die Wirkung dieses Faktors schaltet man z. B. dadurch aus, daß man die Versuchsröhre mit dem zugeschmolzenen Ende nach oben aufstellt, wobei die untere Öffnung in ein Wassergefäß taucht.

Die Geotaxis ist in ihrem Eintreten durch bestimmte Bedingungen zu unterdrücken, wie Sosnowski[81]) gezeigt hat. Ob die Wirkung erhöhten

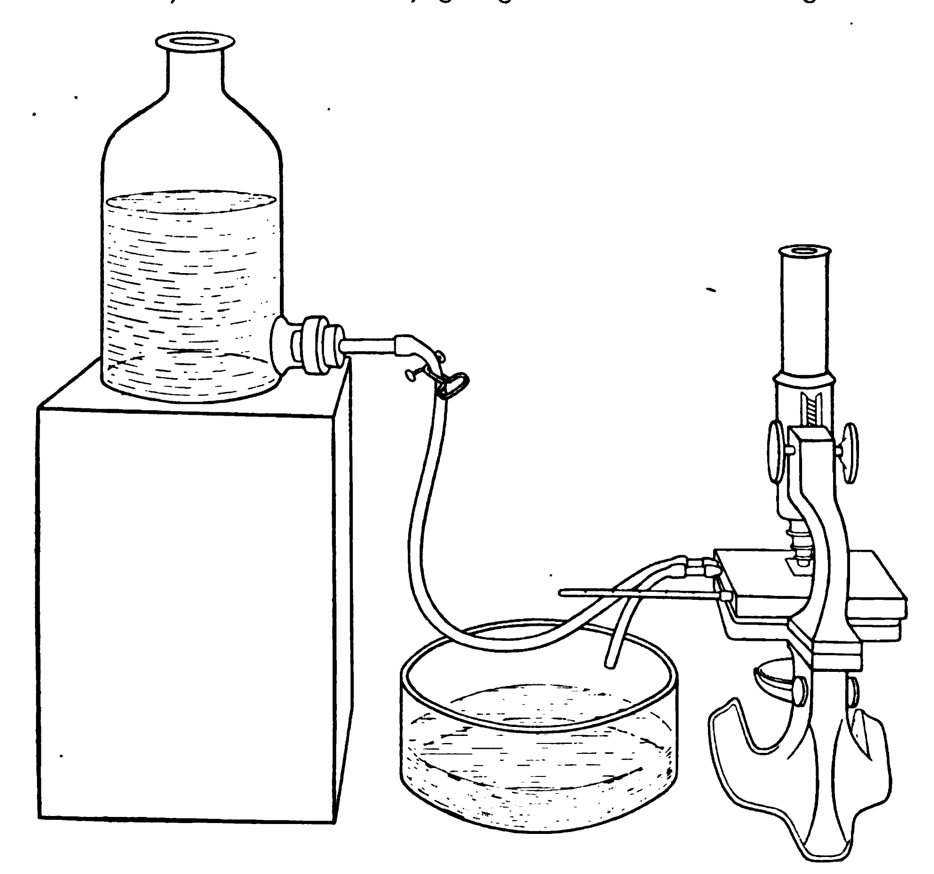


Fig. 32. Anordnung zum Studium der Temperaturwirkung auf Protozoën. (Nach Verworn, Physiologisches Praktikum.)

hydrostatischen Druckes als eine Wirkung mechanischer Reize anzusehen ist, mag dahingestellt sein. Es sei hier nur erwähnt, daß erst bei längerer Einwirkung sehr hoher Drucke (ca. 600 Amp.) eine Wirkung auf Protozoen zu erkennen ist, die sich in einer Schädigung, bezw. Abtötung zeigt. Die Technik der Versuche hat P. Regnard[82]) entwickelt.

2. Thermische Reize. Um verschiedene Temperaturen auf Protisten einwirken zu lassen, bedient man sich am besten heizbarer Objekttische. Die alte Konstruktion nach Max Schultze ist nur für ganz grob orien-

tierende Versuche zu empfehlen, da die Angaben des Thermometers meist erheblich höher sind, als die wirkliche Temperatur in dem untersuchten Präparat. Außerdem gestattet diese Einrichtung keine Abkühlung unter Zimmertemperatur.



Fig. 33. Thermotaxis von Paramaecium. (Nach Mendelssohn aus Verworn.)

Sehr bequem ist die in der Bakteriologie vielfach benutzte Form des heizbaren Objekttisches, die Fig. 6 zeigt: hier erreicht bei längerer Durchströmung der hängende Tropfen wohl sehr nahe die Temperatur des durchfließenden Wassers, dessen Temperatur bis nahe an Null gebracht werden

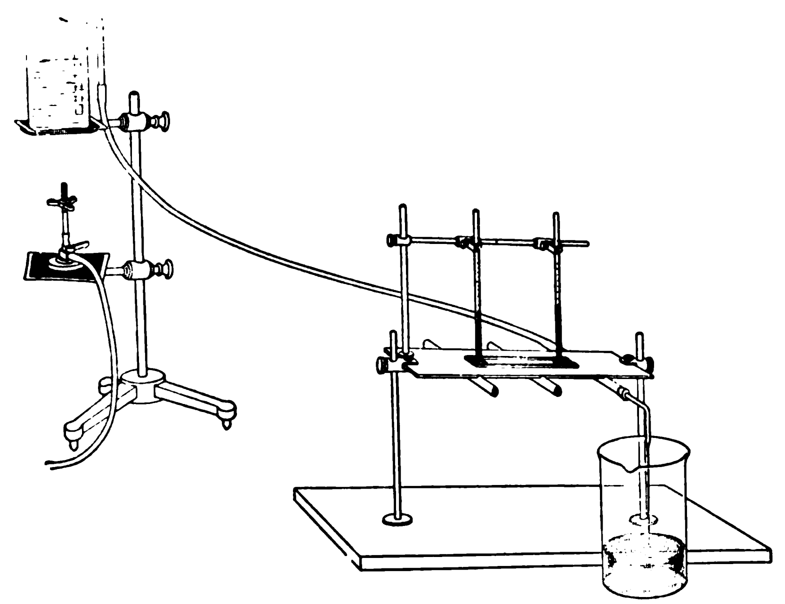


Fig. 34. Anordnung zur Demonstration der Thermotaxis von Paramaecium. (Nach Mendelssohn aus Verworn.)

kann (eventuell bei Verwendung von Salzlösung sogar tiefer). Die Art der Benutzung geht ohne weiteres aus Fig. 32 hervor.

Zum Studium der Thermotaxis sind diese Anordnungen mit allgemeiner gleichmäßiger Erwärmung natürlich nicht verwendbar. Mendelssohn benutzte hierzu eine kleine Ebonitwanne (Fig. 33), deren einzelnen Teile auf

verschiedene Temperaturen gebracht werden, indem durch Röhren kaltes oder warmes Wasser hindurchgeleitet wird. Die Temperatur wird direkt in der Wanne gemessen. (Anordnung s. Fig. 34.) Auf dem schwarzen Grunde der Ebonitwanne sieht man schon mit bloßem Auge sehr gut die Anhäufungen der thermotaktisch vereinigten Paramaecien. Oberhalb 24 bis 28 ° C. sind die Paramaecien negativ thermotaktisch, unterhalb dieser Temperatur dagegen positiv.

Auch unter dem Mikroskop läßt sich die negative Thermotaxis demonstrieren. Verworn benutzte als Objekt Amoeba limax und verfuhr folgendermaßen. Das Deckglas mit den Amöben wird auf eine Glasplatte gebracht, die mit schwarzem Papier beklebt ist und nur durch einen scharfrandigen Ausschnitt dem Licht und der strahlenden Wärme den Zutritt gestattet. Zwischen Objekttisch und Spiegel des Mikroskops wird eine undurchsichtige Platte geschaltet und im auffallenden Licht eine Amöbe so eingestellt, daß sie im Verfolg ihrer Kriechrichtung über die Grenze des schwarzen Papiers kriechen muß. In dem Moment, wo dies erfolgt, wird die abblendende Platte entfernt und die konzentrierten Sonnenstrahlen treffen das Vorderende der Amöbe, deren Hinterende noch im Schatten des Papiers ist. Sofort beginnt die Amöbe ins Dunkle zurückzukriechen. Daß es sich hierbei um Wärme- und nicht um Lichtwirkung handelt, zeigt die Beobachtung, daß der Erfolg ausbleibt, wenn durch zwischengeschaltete Eis- oder Alaunplatten die Wärmestrahlung stark herabgesetzt ist bei wenig geminderter Helligkeit, daß dagegen bei Zwischenschaltung einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, die die Wärmestrahlen passieren läßt, der Erfolg eintritt. Die Temperatur muß über 35 ° C. betragen, damit die Reaktion sicher erfolgt.

3. Chemische Reize. Über die Art und Weise wie Stoffe in geringerer Konzentration auf Protozoen wirken, wissen wir so gut wie nichts.

Die zahlreichen Untersuchungen über den Einfluß verschiedenartigster Chemikalien auf Protisten lehren im allgemeinen nur die Höhe der tötlichen Konzentration. Bei der Feststellung dieses Wertes muß ganz besonderer Wert darauf gelegt werden, daß die Objekte völlig sauber, frei von Detritus und Bakterienballen zur Verwendung kommen, auch durch mehrfaches Reinigen mit destilliertem Wasser völlig frei von Kulturflüssigkeit sind.

Zur Prüfung der Wirkung empfiehlt es sich von Normallösungen (oder n/10) ausgehend sich Verdünnungen nach einer geometrischen Reihe herzustellen. Barratt[83]) fand es bei Paramaecium zweckmäßig die Konzentration festzustellen, die in 10—30 Minuten tödlich wirkt, und es ergab sich, daß diese Konzentration für starke Säuren und Alkalien scharf definierbar war, indem bei der doppelten Konzentration der Tod sehr rasch, fast momentan eintrat, in der Konzentration von halber Stärke dagegen die Tiere stundenlang lebten. Die folgenden Tabellen zeigen hierfür einige Beispiele. (Siehe die nebenstehenden Tabellen.)

Nur in wenigen Fällen ist etwas anderes als die Dosis letalis von einem Stoff festgestellt, doch finden sich vielfach Beschreibungen der typischen generellen Reizwirkungen auf Cilien, Myoide und Systoletten, die erörtert wurden, mit dem Bestreben, diese Symptome als den Ausdruck spezifischer

Die für Paramaecium aurelia tödlich wirkenden Konzentrationen von Säuren bei 13° C. nach Barratt. (Gekürzt.)

	0,0004 N	0,0002 N	0,0001 N	0,00005 N
HCl Salzsäure	tot innerhalb 1 Minute	tot nach 7 Minuten	tot nach 5 Stunden	
HNO_3 Salpetersäure	tot innerhalb 1 Minute	tot nach 15 Minuten	lebendig nach 24 Stunden	
H_2SO_4 Schwefelsäure	tot innerhalb 1 Minute	tot nach 17 Minuten	lebendig nach 24 Stunden	
HCOOH Ameisensäure		tot innerhalb 2 Minuten	tot nach 15 Minuten	tot nach 5 Stunden
COOH · CHOH · CHOH · COOH Weinsäure		tot innerhalb 1 Minute	tot nach 12 Minuten	lebendig nach 24 Stunden

Die für Paramaecium aurelia tödlich wirkenden Konzentrationen von Basen nach Barratt. (Gekürzt.)

	0,004 N	0,003 N	0,002 N	0,001 N	0,0005 N
KOH	tot nach 5 Minuten	tot nach 14 Minuten	tot nach 60 Minuten	lebendig nach 24 Stunden	
NaOH	tot nach 5 Minuten	tot nach 15 Minuten	tot nach 40 Minuten	lebendig nach 24 Stunden	
LiOH		tot nach 4 Minuten	tot nach 10 Minuten	tot nach 90 Minuten	lebendig nach 24 Stunden
$^1/_2$ $Ba(OH)_2$			tot nach 5 Minuten	tot nach 30 Minuten	lebendig nach 24 Stunden

Wirkungen hinzustellen, ein Versuch, der oben bereits eine Kritik erfahren hat.

Als Indikator für die Wirkung nicht tödlicher Dosen eines Reizstoffes ist gelegentlich die Teilungsgeschwindigkeit benutzt worden. B. Sand[84]) stellte den Grad der Beschleunigung bezw. Verlangsamung für verschiedene Dosen von Arsen, Chinin, Eisen, Alkohol fest.

Methodisch am bedeutsamsten für die Bearbeitung der Frage, wie bestimmte Stoffe auf das Protoplasma einwirken, sind Barratts[85]) Untersuchungen über die Wirkung von Säuren und Alkalien, durch die er den Nachweis erbrachte, daß beide nicht katalytisch auf das Plasma wirken, sondern Verbindungen mit ihm eingehen, so daß Säure und Alkali in meßbaren Mengen aufgebraucht werden.

Die Methode zur Feststellung dieser Tatsache beruht auf dem Prinzip, daß die elektrische Leitfähigkeit einer Flüssigkeit von ihrer Ionenkonzentration abhängt, und daß, wenn die elektromotorische Kraft und der äußere

Widerstand konstant bleiben, wobei letzterer im Vergleich zu dem der Flüssigkeit vernachlässigt werden darf (z. B. 130000 : 100 Ohm), jede Veränderung in der Ionenkonzentration sich durch eine proportionale Veränderung der Stromstärke kundgibt, so daß diese als ein Maß für die Ionenkonzentration gesetzt werden kann.

Zur Ausführung der Bestimmung benutzt man einen sehr einfachen Apparat, den Fig. 35 zeigt. Er besteht aus einem U-förmigen Glasrohr (C), das 2 Platinelektroden enthält. Am Boden von C befindet sich ein mittels Gummischlauch an den Trichter (T) angeschlossenes Verbindungsrohr. Durch Heben und Senken des Trichters wird das U-Rohr gefüllt oder entleert. Als Stromquelle dient zweckmäßig ein Akkumulator und im Stromkreis befindet sich noch ein Milliampèremeter (G) und ein Schlüssel (S).

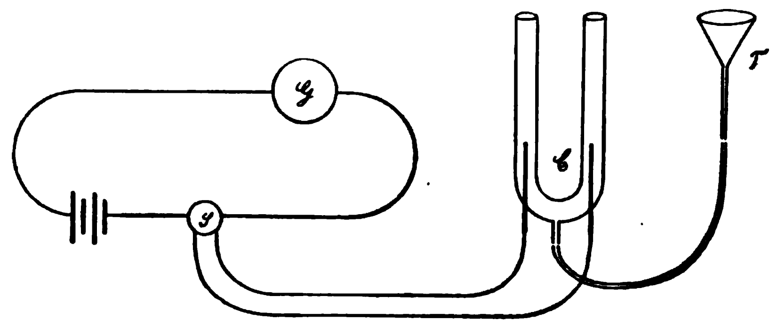


Fig. 35. Anordnung zur Bestimmung des Säuregehaltes einer Flüssigkeit nach Barratt. Erklärung im Text.

Zu beobachten ist der Ausschlag des Galvanometers bei Füllung des U-Rohres mit destilliertem Wasser, bei Füllung mit der verdünnten Säure oder Base und nach Zusatz der Paramaecien. Die Versuche geben eine deutliche Abnahme der Leitfähigkeit, also eine Verringerung des Galvanometerausschlages während der Wirkung der Stoffe auf die Paramaecien. Für Säuren und Basen, die sehr schwache Elektrolyte sind, ist die Methode nicht verwertbar. Einzelheiten der Ausführung und Berechnungen müssen im Original nachgesehen werden.

Ebenso in bezug auf einen zweiten Weg, die chemische Bindung zwischen Plasma und Säure (bezw. Alkali) nachzuweisen, der auf der Verwendung der Messung elektromotorischer Kräfte von Konzentrationsketten mit Wasserstoffelektroden beruht[86]).

Wichtig für das Experimentieren mit Protozoën ist die Kenntnis der Tatsache, daß für einige Formen bereits der Partiardruck des Sauerstoffs, wie er in der Luft herrscht, zu hoch ist, und schwere tödliche Schädigungen bewirkt. Besonders bei Spirostomum ist die Gefahr der Schädigung durch zu viel Sauerstoff erheblich und im offenen Uhrschälchen (in feuchter Kammer) sind die meisten Tiere im Laufe eines Tages abgestorben oder doch im Absterben. Setzt man sie dagegen unter eine Glasglocke, die mit gewöhnlichem Luftstickstoff (in Stahlflaschen im Handel) gefüllt wird, der 2—4 Proz. Sauerstoff enthält, so kann man die Tiere im Uhrschälchen

wochenlang normal halten[87]. Opalina wird gleichfalls durch Luftsauerstoff geschädigt, und wahrscheinlich auch Bursaria truncatella.

Das Hauptinteresse beim Studium der chemischen Reizwirkungen haben bisher stets die Erscheinungen der Chemotaxis in Anspruch genommen. Die mancherlei Modifikationen, die vorgeschlagen sind, haben alle den Zweck, einen allmählichen Konzentrationsabfall zu schaffen, so daß in bestimmten Entfernungen von dem eingeführten Reizstoff Zonen gleicher Konzentration liegen.

Pfeffer[88]) füllte zu diesem Zweck einseitig zugeschmolzene Kapillaren mit dem Reizstoff und ließ diesen dann aus der Kapillarmündung in das umgebende Medium hineindiffundieren. Besteht eine positive Chemotaxis, so läßt sich das mit dieser Methode leicht nachweisen, indem sich die Organismen in der Röhre ansammeln.

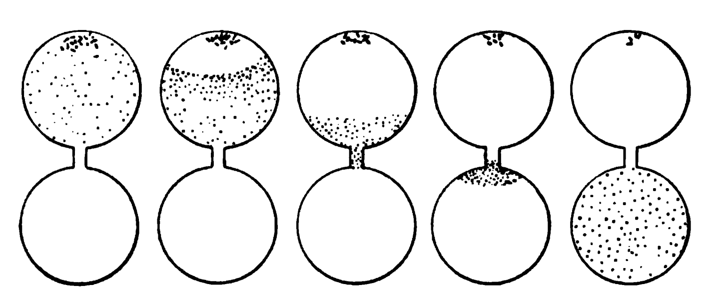


Fig. 36. Demonstration der negativen Chemotaxis von Anophrys. (Nach Massart aus Verworn.)

Massart demonstrierte die negative Chemotaxis (bei Anophrys) in der Weise, daß er in einen Tropfen, in dem die Tiere waren, einige Kochsalzkristalle brachte, und den Tropfen durch eine schmale Flüssigkeitsbrücke mit einem zweiten Tropfen reinen Wassers verband. Vor der stärker werdenden Salzlösung weichen die Anophrys negativ chemotaktisch zurück und schwimmen alle in den Tropfen reinen Wassers hinüber (s. Fig. 36).

Etwas anders verfährt Jennings[89]) zur Demonstration der Chemotaxis. Unter einem großen Deckglas, das durch Glasfäden unterstützt ist, wird die Flüssigkeit mit den Versuchstieren ausgebreitet und nun mit einer kapillar ausgezogenen Pipette ein Tropfen der Lösung, die auf ihre chemotaktische Wirksamkeit untersucht werden soll, unter das Deckglas gebracht. Besteht positive Chemotaxis, so sammeln sich die Tiere in dem Tropfen an (s. Fig. 37), bei negativer ziehen sie sich von ihm zurück. Besteht ein Konzentrationsoptimum für den Stoff, dem die Organismen von niederer (positiv) und höherer (negativ) Konzentration aus zustreben, so bildet sich die Ansammlung in verschiedener Entfernung von dem Reiztropfen, entweder direkt an seiner Grenze (Fig. 37, C und D) oder entfernt davon (Fig. 37, E).

Statt eines Tropfens kann natürlich auch eine Gasblase als Reizquelle dienen, z. B. eine Blase von Kohlensäurse, gegen die für viele Infusorien bei schwächerer Konzentration eine stark positive Chemotaxis besteht, auf der zum Teil die dichten Gruppenbildungen mancher Formen beruhen. Bei stärkerer Konzentration tritt negative Chemotaxis ein.

Zur Demonstration dieses Konzentrationsoptimums bedarf es öfter gar keiner besonderen Maßnahmen; z. B. erkennt man bei Anophrys und Spirillen ohne weiteres dies Optimum für Sauerstoff, das für beide Formen verschieden hoch liegt, daran, daß sie sich von Luftblasen, oder von den Deckglasrand in bestimmten, für beide verschiedenen Entfernungen in dicht gedrängten Linien anordnen (s. Fig. 38).

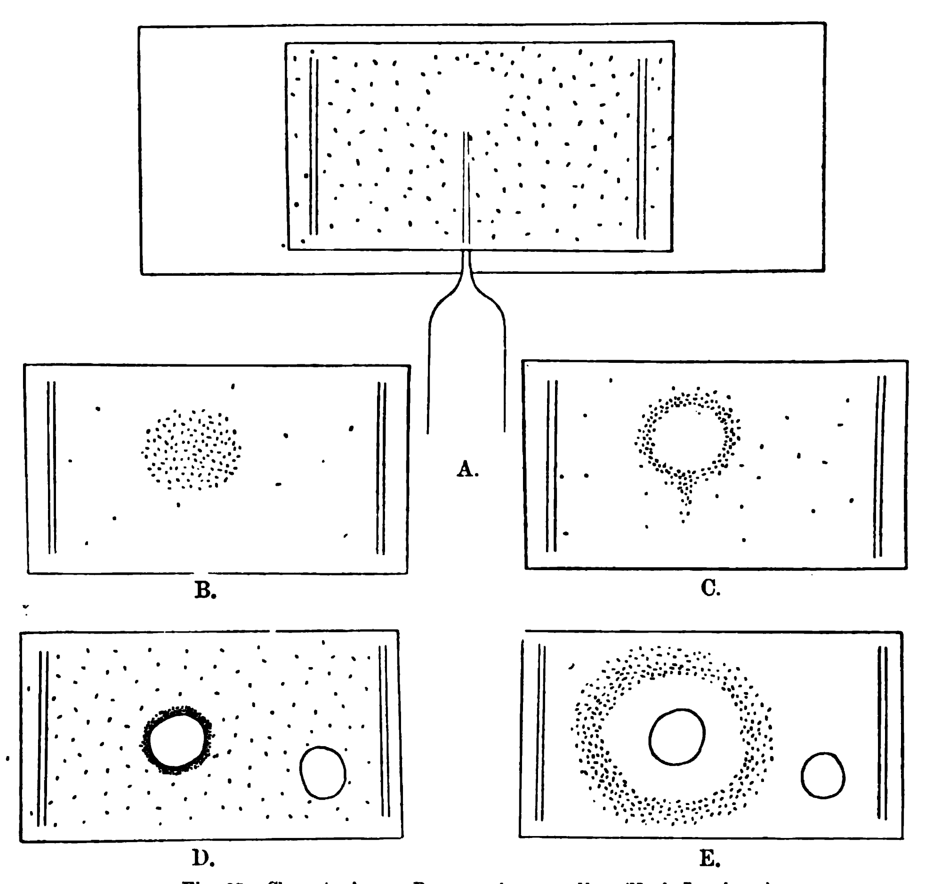


Fig. 37. Chemotaxis von Paramaecium aurelia. (Nach Jennings.)
A. Einbringen des chemotaktisch wirksamen Tropfens unter das Deckglas mittels der Kapillarpipette. B. Positiv chemotaktische Anhäufung. C. Desgleichen bei zu hoher Konzentration der betreffenden Lösung. D. Eine Kohlensäure- und eine Luftblase unter dem Deckglase, erstere wirkt positiv chemotaktisch, letztere ist indifferent. E. Dasselbe Präparat etwas später: die Kohlensäure ist in das umgebende Wasser diffundiert und hat durch ihre zu hohe Konzentration die Paramaecien vertrieben, bis dahin wo sie ihr Kohlensäureoptimum finden. (Nach Jennings aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Während in allen diesen Versuchen als Indikator der Reizwirkung eine grob wahrnehmbare Massenanhäufung der Versuchstiere diente, hat sich Barratt[90]) bemüht, einen quantitativen Ausdruck für die Chemotaxis zu finden.

Seine Methode ist folgende: In ein Uhrschälchen kommt 1 ccm paramaecienhaltiger Heuinfus, oder besser destilliertes Wasser, in welches enge

Röhrchen (0,8—2,3 mm weit) hineinragen, die mit den zu prüfenden Lösungen gefüllt sind. Zur Kontrolle werden stets Röhrchen mit Aqua dest. oder Heuinfus hinzugelegt. Nach 15 bis 30 Minuten werden die Röhrchen herausgenommen und die Zahl der eingedrungenen Tiere festgestellt, ebenso wie weit sie eingedrungen sind und wie viele etwa abgestorben sind.

Im allgemeinen wirken Alkalien stets negativ chemotaktisch von der Reizschwelle an, während verdünnte Säuren positiv chemotaktisch wirken und die Abstoßung erst bei höheren Konzentrationen erfolgt. Barratt faßt allerdings nach seinen Versuchen die positive Chemotaxis gegen schwache Säuren nur als eine scheinbare auf, als eine Phase negativer Chemotaxis.

4. Aktinische Reize. Die Reizwirkungen, die man durch strahlende Wärme erhalten kann, wurden schon erwähnt, hier soll die Methodik der Anwendung von Licht aus den verschiedenen Spektralteilen, Röntgenstrahlen (γ-Strahlen) und Radiumstrahlen (α-, β- und γ-Strahlen) besprochen werden.



Fig. 38. Ansammlungen im Sauerstoffoptimum.
A. Am Deckglasrand, die äußere Ansammlung besteht aus Anophrys, die innere aus Spirillen.
B. Um eine Luftblase. (Nach Massart aus Verworn.)

Die Wirkung des Lichtes auf die Kohlensäureassimilation durch Chromophylle soll nicht näher erörtert werden, sie läßt sich an Protophyten natürlich ebenso wie an höheren Pflanzen demonstrieren, und würde uns zu weit in das Gebiet der Pflanzenphysiologie hineinführen.

Nur die Bakterienmethode Engelmanns[38]) zur Demonstration der Sauerstoffproduktion einzelliger Algen mag erwähnt werden. Engelmann fand, daß eine Reihe von Bakterien eine starke positive Chemotaxis gegen Sauerstoff haben und durch Verwendung dieser Eigenschaft gelang ihm der Nachweis geringster Spuren von Sauerstoff. Die Methode gestattet auch die Untersuchung der assimilatorischen Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge unter dem Mikroskop.

Unter den chlorophyllfreien Protisten ist die Zahl derer, die schon bei gewöhnlichen Lichtintensitäten ihre Lichtreizbarkeit zeigen, sehr gering. Als solche Objekte sind zu nennen: Pelomyxa palustris (s. Fig. 1), Pleuronema chrysalis (s. Fig. 39), einige Schwärmer von Chitridiaceen und eine Bodoart.[89])

Bei den beiden erstgenannten Formen genügt es, die Tiere im auffallenden Licht im Mikroskop einzustellen und dann mit dem Spiegel einen Lichtblitz auf sie zu werfen, worauf in beiden Fällen eine kontraktorische Erregung erfolgt, die bei Pelomyxa in einer Abkugelung des kriechenden Tieres, bei Pleuronema in einem lebhaften Schlag der Sprungwimpern besteht. Einschaltung von Eis- oder Alaunplatten in den Gang der Strahlen

ändert nichts am Reizerfolg (keine Wärmewirkung), während nach Absorption der aktinisch wirksamen Strahlen (Jod in Schwefelkohlenstoff) die Wirkung ausbleibt. Die Zeit der latenten Reizung beträgt bei Pleuronema 1—2 Sekunden.

Da die Lichtreizbarkeit als eine allgemeine Eigenschaft der lebendigen Substanz vermutet werden darf, so lag es nahe anzunehmen, daß die negativen Erfolge wesentlich durch Anwendung zu geringer Lichtintensitäten veranlaßt seien, und in der Tat haben Hertels[90]) Untersuchungen von

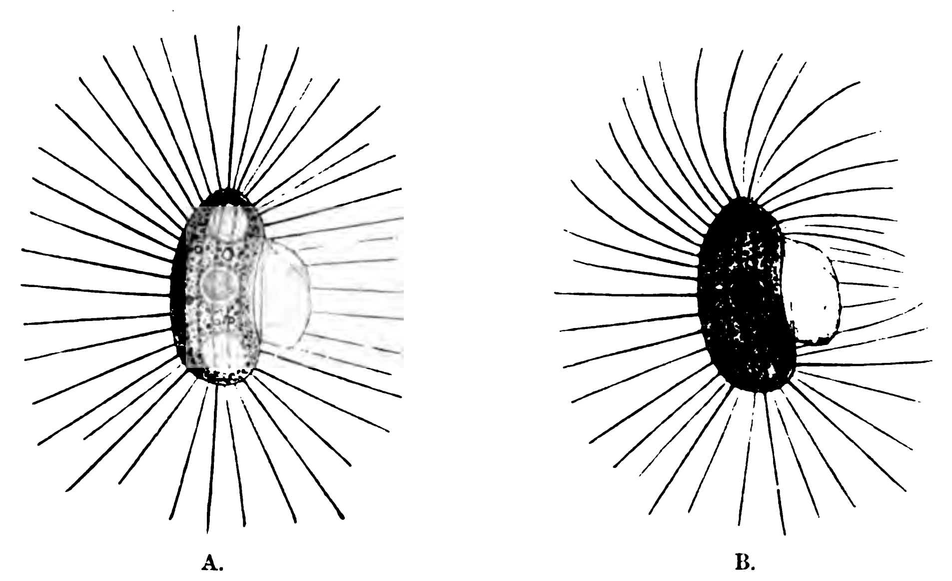


Fig. 39. Pleuronema chrysalis. A. Stilliegend. B. Im Begriff einen Sprung auszuführen. Die Wimpern sind im Schlage begriffen. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Paramaecium, das für gewöhnlich für nicht reizbar durch Licht gilt, starke Wirkungen gezeigt.

Als Lichtart wurde die Linie 280 $\mu\mu$ des Magnesiumspektrums gewählt (also eine ultraviolette Linie), wobei natürlich Quarzprismen und Quarzlinsen (am Kondensor) zur Verwendung kommen müssen. Die Untersuchung erfolgt im ausgeschliffenen Objektträger: in einen Objektträger wird eine kreisrunde Öffnung geschliffen und deren Unterseite mit einer dünnen Quarzplatte bedeckt.

Bei Paramaecium hat Bestrahlung mit der genannten Lichtart eine starke Erregung zur Folge, und bei einiger Dauer erfolgte Lähmung und Tod. Das Aufhören der Bewegung tritt bei 10—15 Sekunden langer Bestrahlung ein.

Stentor stirbt gleichfalls unter maximaler Kontraktion seiner Myoneme in kaum einer Minute ab, ebenso erzielt man bei Carchesium und Epistylis starke Reizwirkungen.

Bei zunehmender Wellenlänge nimmt die Wirkung der Strahlen auf die Protisten rasch ab. Bei der Vergleichung des Effektes von Linien ver-

schiedener Spektralteile ist besonders Wert darauf zu legen, daß die Intensität der untersuchten Linien dieselbe, oder jedenfalls eine bekannte ist, was durch thermoelektrische Messung der Gesamtenergie der Strahlung zu kontrollieren ist, wie Hertel[91]) sie durchgeführt hat.

So tötet z. B. die gleiche Gesamtstrahlungsintensität bei einer Wellenlänge von 280 $\mu\mu$ (Ultraviolett) die Paramaecien fast momentan, bei 440 $\mu\mu$ (Indigo) in 2—4 Stunden, bei 558 $\mu\mu$ (Gelb) nach 6 Stunden.

Für die Einzelheiten der Versuchsanordnung und die Messungsmethoden muß auf Hertels mustergültige Arbeiten verwiesen werden.

Von weiteren Strahlengattungen ist die Wirkung des Gemisches der α-, β- und γ-Strahlen untersucht, die Radiumpräparate aussenden. Als Objektträger dient dabei eine ganz dünne Glimmerplatte (4 μ dick) und das Radiumpräparat wird möglichst nahe an die Objekte gebracht, indem man es auf die Beleuchtungsvorrichtung des Mikroskops legt. Der Erfolg besteht in einer Abtötung der Protisten (Zuelzer[92])).

Schaudinn[93]) fand gleichfalls eine tödliche Wirkung bei Anwendung von reinen γ-Strahlen (Röntgenstrahlen). Die Technik bietet nichts besonderes.

Für die Theorie der Wirkung des Lichtes auf die lebendige Substanz ist von besonderem Interesse die Möglichkeit, durch Zusatz bestimmter Stoffe die Lichtwirkung außerordentlich zu erhöhen. Die Wirkung der strahlenden Energie ist ja vor allem abhängig von dem Absorptionsvermögen des durchstrahlten Systems und so ist zu erwarten, daß Stoffe, die dieses aktinische Absorptionsvermögen steigern, auch die Wirkung des Lichts erhöhen. Tappeiner und Raab haben eine Reihe derartiger Stoffe beschrieben, nach deren Zusatz sie bei Paramaecium, das sonst durch Tageslicht nicht beeinflußt wird, starke Lichtwirkungen beobachteten.

Hertel, der mit spektralem Licht arbeitend, diese Verhältnisse prüfte, benutzt eine neutrale Eosinlösung von 1:1200, die einen Absorptionsstreifen von 535—470 $\mu\mu$ hat, und eine Erythrosinlösung 1:6000 mit Absorptionsstreifen von 427—485 $\mu\mu$.

Die Wirkung des Lichtes auf die Paramaecien war nun nur innerhalb der Wellenlänge des Absorptionsstreifens sehr stark erhöht. So tötete Licht von 518 $\mu\mu$ in 2—3 Minuten bei Gegenwart der Sensibilisatoren, während ohne sie in einer Viertelstunde noch keine Wirkung sichtbar wurde. Außerhalb der Absorptionsstreifen, bei 448 $\mu\mu$ war mit und ohne Zusatz der Farbstoffe kein Erfolg nach 15 Minuten zu sehen.

Entsprechend der geringen Wirkung, die das Licht gewöhnlicher Zusammensetzung auf die meisten chlorophyllosen Protisten ausübt, finden sich bei ihnen nur höchst selten phototaktische Erscheinungen, die bei den grünen Protisten dagegen äußerst verbreitet sind. Besonders Euglena und Volvox sind beliebte Objekte beim Studium dieser Phänomene gewesen.

Der methodische Schwerpunkt bei Untersuchungen über Lichtwendigkeit liegt auf der Herstellung einer genau bekannten Verteilung der Lichtintensität. Wäre diesem Punkt, der auch heute noch oft genug vernachlässigt wird, stets genügend Rechnung getragen, so wäre viel überflüssige Arbeit erspart worden.

Die Intensitätsverteilung des Lichtes in einem hängenden Tropfen, der

durch den Mikroskopspiegel beleuchtet wird, in einem zylindrischen Gefäß, das sein Licht vom Fenster erhält, ist so verwickelt, daß derartige Anordnungen als absolut ungeeignet zum Studium phototaktischer Bewegungen angesehen werden müssen.

Erfordernis für ein Gefäß, in dem phototaktische Versuche gemacht werden sollen, ist, daß seine Wände planparallel sind und kein Licht reflektieren. Die Lichtstrahlen müssen durch geeignete Linsensysteme parallel gemacht werden. Auf diese Weise erhält man einen Raum, in dem ein gleichmäßiger Abfall der Lichtintensität in der Richtung des Lichtstrahlenganges erfolgt.

Es macht sich nun bei der Interpretation phototaktischer Bewegungen immer wieder die Tendenz geltend, die „Richtung" als das bei der Orientierung Wirksame hinzustellen, anstatt der Intensitätsabnahme. Durch eine einfache Anordnung hat Oltmanns[94]) die „Richtung" der Lichtstrahlen

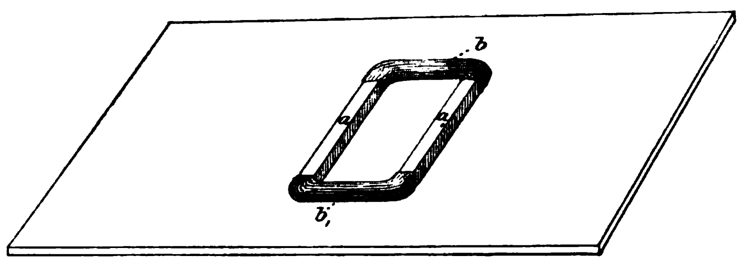


Fig. 40. Tonleistenkästchen zur galvanischen Reizung von Paramaecium. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

vom Intensitätsabfall getrennt, indem er vor das Gefäß, das die Objekte enthielt, einen Keil aus Glasplatten setzt, der eine Tuscheaufschwämmung in Gelatine enthält. Dieser Keil (ca. 2° Winkel) läßt an seinem dünnen Ende nahezu alles Licht durch, an seinem dicken Ende sehr viel weniger. Fällt also das Licht senkrecht auf die Keilplatte, so liegt hinter dem Keil der Intensitätsabfall senkrecht zur Einfallsrichtung des Lichts, allerdings erfolgt in der Richtung der Lichtstrahlen ja auch ein geringerer Intensitätsabfall, was man dadurch vermeiden könnte, daß man beide Seiten mit derartigen Keilen versieht und mit gleichen Lichtquellen beleuchtet.

5. Elektrische Reize. Wegen seiner feinen Abstufbarkeit und genauen Dosierbarkeit erfreut sich der elektrische Reiz in seinen verschiedenen Formen größter Beliebtheit in der Physiologie und auch für die Protisten ist er vielfach benutzt worden.

Über Stromquellen, Meßinstrumente, Widerstände ist nichts besonderes zu sagen, nur die Form der Elektroden und die Gefäße, in die die Protozoen zwecks Reizung gebracht werden, sollen beschrieben werden.

Die unpolarisierbaren Elektroden, die für konstante Ströme gebraucht werden, können genau dieselbe Form erhalten, wie sie sonst allgemein üblich sind (Pinselelektroden), nur darf man die Pinsel nicht mit physiologischer Kochsalzlösung durchtränken, sondern mit der Flüssigkeit, mit der die Tiere untersucht werden sollen. Statt der Pinsel verwandte Verworn auch Elektroden mit Spitzen aus gebranntem Ton (s. Fig. 41). Statkewitsch[95]) be-

nutzt statt der Pinsel Baumwollfäden, die aber bei Verwendung von Medien, die nicht durch Zusatz schleimiger Stoffe dickflüssig gemacht sind (s. o.), leicht den Tropfen kapillar anziehen. Der Vorteil dieser Elektroden besteht darin, daß in dünner Schicht, also bei starker Vergrößerung, unter dem Deckglas beobachtet werden kann.

Die bei weitem einfachste und für die meisten Fälle ausreichende Methode ist die Reizung im Verwornschen Tonleistenkästchen (Fig. 40). Auf einen Objektträger werden 2 parallele Leisten von porösem Ton (wie

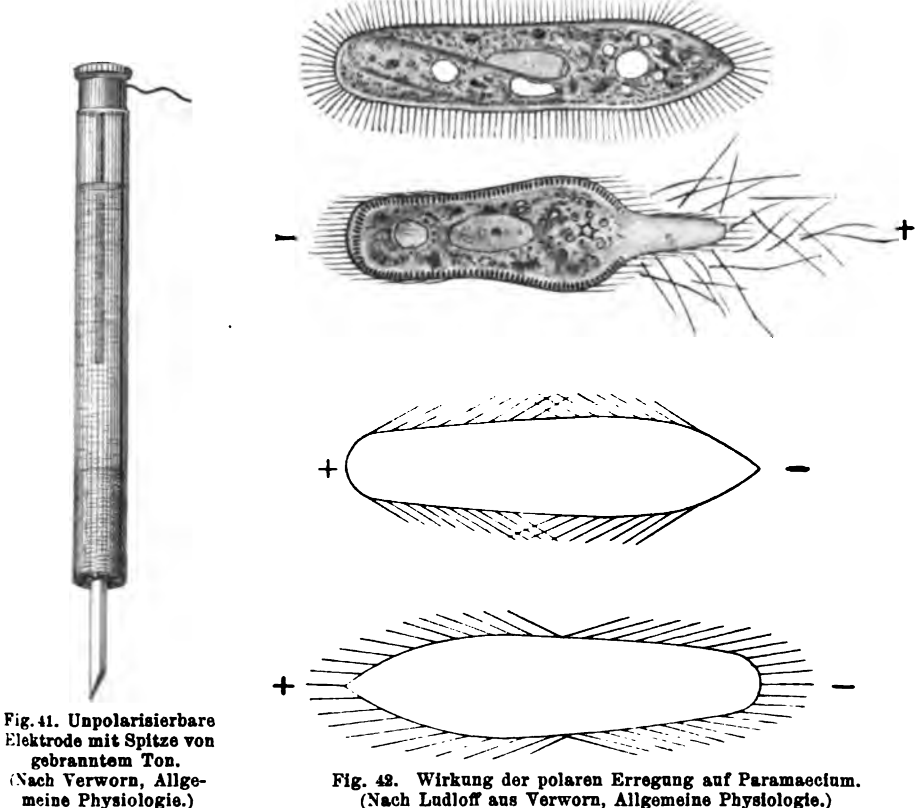


Fig. 41. Unpolarisierbare Elektrode mit Spitze von gebranntem Ton. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Fig. 42. Wirkung der polaren Erregung auf Paramaecium. (Nach Ludloff aus Verworn, Allgemeine Physiologie.)

er bei den Tonzellen der galvanischen Elemente benutzt wird) aufgekittet und ihre Enden durch kleine Wälle eines isolierenden Kittes (Kolophonium und Wachs) verbunden. An die Tonleisten werden die Pinsel angelegt. Den Erfolg der Reizung am einzelnen Tiere zeigt Fig. 42, die makroskopisch sichtbare Anhäufung der Tiere an der Kathode Fig. 43. Um zu zeigen, wie die Paramaecien in ihrer Schwimmrichtung den Kraftlinien des elektrischen Stromes folgen, stellt man den Versuch im Uhrschälchen an, und taucht an zwei beliebigen Stellen die Spitzen der Pinsel oder die Tonspitzen der Elektroden in die Flüssigkeit. Bei Verwendung einzelner Induktionsschläge als Reiz kann man Platinelektroden benutzen und hier empfiehlt sich die An-

ordnung, die Roesle[96]) beschreibt. Auf einen größeren Objektträger wird ein Hartgummiring aufgekittet, der das Behältnis für die Versuchsobjekte darstellt (s. Fig. 44). Um ihn wird ein zweiter dünnerer, ihn etwas überragender Ring angelegt, der sich gerade um den ersten drehen läßt. Der drehbare Ring trägt zwei feine Klemmen, die einander genau gegenüberstehen. An diese wird je ein dünnes, in der Mitte längs durchschlitztes Metallstück so angebracht, daß es sich etwas verschieben läßt. An den Metallstücken befinden sich die als Elektroden dienenden Platindrähte, die infolge ihrer Verschieblichkeit in stets gleichem Abstand voneinander eingestellt werden können. Durch die Drehung des äußeren Ringes ist es mög-

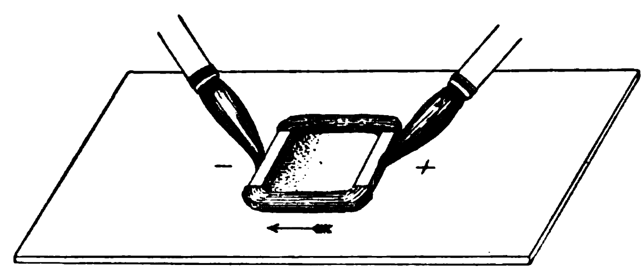


Fig. 43. Negative Galvanotaxis von Paramaecium bei makroskopischer Betrachtung. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

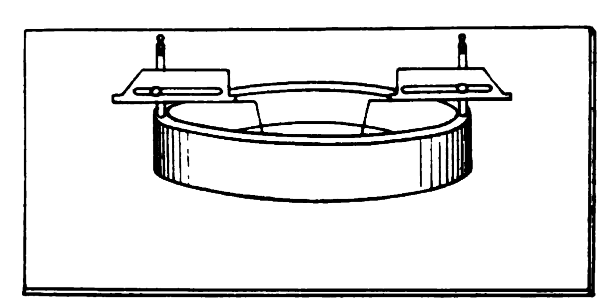


Fig. 44. Reizkästchen für Reizung von Protozoën mit einzelnen Induktionsschlägen. (Nach Roesle.)

lich, die Elektroden in jede beliebige Lage zur Körperachse der Versuchsobjekte zu bringen und so den Reizeffekt bei Längs- und Querdurchströmung zu studieren.

Beim Studium galvanotaktischer Erscheinungen verwendet Birukoff bei längerer Einwirkung des Induktionsstroms verschieden gestaltete Metallelektroden. Wegen des raschen Auftretens von Polarisationsprodukten, die die Tiere schädigen, kann diese Methode nicht empfohlen werden.

Was die Stromstärken anlangt, mit denen man zweckmäßig arbeitet, so findet bei Paramaecien, die in Kulturflüssigkeit untersucht werden, eine Galvanotaxis zur Kathode statt, wenn die Stromstärke etwa 0,06 M. A. beträgt. In destilliertem Wasser ist die Erregbarkeit viel höher, und schon Ströme von 0,016 M. A. bewirken Hinschwimmen zur Kathode, wie Wallengren[97]) gezeigt hat.

7. Die Lebensbedingungen.

Die Methoden zur Feststellung der äußeren Lebensbedingungen bieten nichts besonderes. Bei der Ermittelung der Lebensgrenzen z. B. in bezug auf Temperatur, Druck, Nahrung, Sauerstoff, Zusammensetzung des Mediums kommen dieselben Anordnungen zur Verwendung, wie sie bei der Methodik der Reizversuche erörtert wurden.

Es sollen hier wesentlich die Mittel erwähnt werden, die zum Studium der inneren Lebensbedingungen geeignet sind.

Eine fundamentale Bedingung für den dauernden Bestand des Lebens eines Einzelligen wie jeder Zelle ist das Zusammenwirken von Kern und Plasma. Gerade bei Protisten ist es experimentell leicht möglich, diese Bedingungen festzustellen und zwar durch Operationen an der Zelle, wie sie bei Vielzelligen meist nicht möglich sind. Durch Zerschneidungsversuche unter dem Mikroskop ist es bei manchen Formen nicht besonders schwer, kernlose und kernhaltige Teilstücke zu erhalten.

Das Instrument zu dieser Mikrooperation stellt man sich nach Verworns Angaben aus einer Nadel her, die zu einer möglichst feinen Schneide geschliffen wird. Solche Zerschneidungen haben von Amöben kernlose Teilstücke geliefert, die noch einige Zeit hindurch Bewegungen zeigen, dann aber zugrunde gehen.

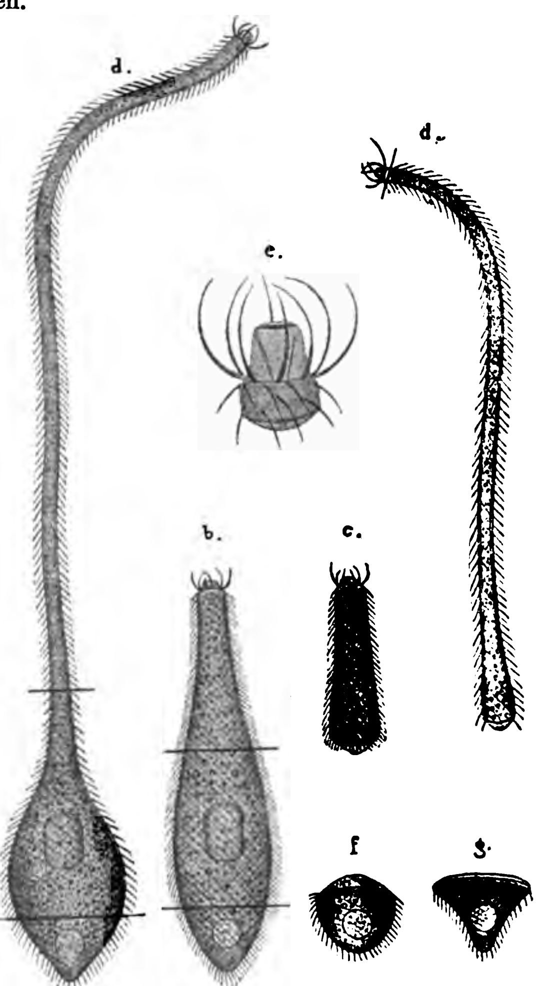


Fig. 45. Lacrymaria olor unter dem Mikroskop in einzelne Teilstücke zerlegt. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Für die Frage, ob der Kern ein regulatorisches Zentrum für die Bewegung ist, oder wenigstens etwas mit der Koordination der oft ganz verschiedenartigen Bewegungsformen der einzelnen Ciliengruppen zu tun hat, benutzte Verworn Lacrimaria olor, von dem sich die verschiedensten Teilstücke mit und ohne Kern gewinnen lassen, die nach der Operation genau die gleichen typischen Bewegungen zeigen wie vorher (s. Fig. 45).

Für die Frage, ob der Zellkern ein Oxydationszentrum sei, ob er besondere Beziehungen zur Zellatmung habe, wie Loeb meint, verwandte Verworn Spirostomum und zeigte, daß kernhaltige und kernlose Teilstücke in ganz gleicher Weise durch Sauerstoffentziehung geschädigt werden, sich auch in ganz gleicher Weise wieder erholen.

Auch die interessante Frage, ob ein Kern ohne Plasma lebensfähig sei, läßt sich an Protisten experimentell beantworten, indem die großen Radiolarien, z. B. Thalassicolla (s. Fig. 46), nicht nur Kerne erheblicher Größe bieten, sondern auch deren glatte Entfernung aus der Zentralkapsel leicht gestatten. Solche plasmalosen Kerne gehen ebenso sicher zugrunde, wie kernlose Plasmastücke.

Ist einer Zelle ein Teil ihres Plasmas genommen, so regeneriert sie das verlorene und es stellt sich unter gleichbleibenden Verhältnissen wieder dieselbe Proportion zwischen Kernmasse und Plasmamenge oder wohl richtiger zwischen Kernoberfläche und Zellvolum (oder Zelloberfläche) ein, die Kernplasmakorrelation R. Hertwigs.

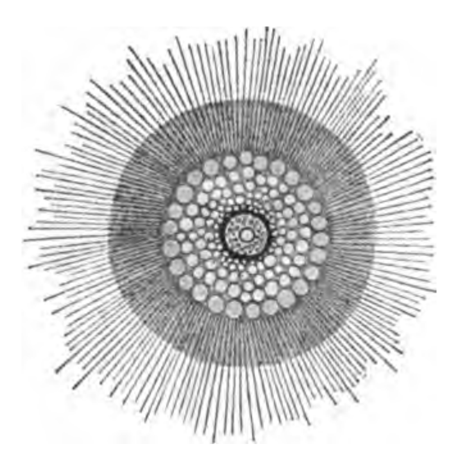


Fig. 46. Thalassicolla nucleata. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Eine experimentelle Veränderung dieser Proportion hat tiefgreifende physiologische Veränderungen zur Folge, oder wenn wir vorsichtiger sein wollen, so können wir sagen, daß die Veränderung der Kernplasmakorrelation für uns ein Indikator ist, daß tiefgehende physiologische Veränderungen in den Zellen stattgefunden haben.

Experimentell herstellbar ist eine Veränderung der Kernplasmakorrelation auf verschiedene Weise.

R. Hertwig[98]) züchtete Aktinosphärien monatelang bei überreicher Ernährung (durch Stentor coeruleus) und erzielte dadurch eine gewaltige Zunahme der Kernmasse im Vergleich zum Plasma. Lange Zeit hindurch bleibt dieser Zustand nicht bestehen, die großen Kerne werden ausgestoßen und die kernlosen Reste gehen zugrunde. Auch durch Züchtung bei niederer Temperatur ist eine Vermehrung der Kernmasse zu erzielen, während hohe Temperaturen zu ihrer relativen Verminderung führen.[99]) Als Temperaturen wurden für Actiosphaerium 25° und 8° C. gewählt.

Auf eine ganz andere Weise erreichte Gerassimow[100]) eine Veränderung des Verhältnisses von Kern und Plasma. Läßt man auf Spirogyra niedere Temperaturen einwirken, so erhält man Teilungsabnormitäten, indem die beiden Kerne in dem einen Teilstück des Zellkörpers bleiben, und außerdem ein kernloses Teilstück entsteht. Die Fäden wurden eine Nacht bei 2° gehalten.

Die Einsicht, daß die Veränderungen, die zur Bildung ungeschlechtlicher oder geschlechtlicher Fortpflanzungsstadien führen, in strenger Weise von den physiologischen Bedingungen abhängen, denen ein Organismus unter-

worfen ist, hat Klebs[101]) in fundamentalen Versuchen zuerst an Protisten entwickelt. Seine Objekte aus diesem Stamme waren durchweg Algen, bei denen es durch Variieren der Ernährung, des Salzgehaltes des Kulturmediums, der Belichtung und Temperatur gelang, willkürlich entweder das vegetative Wachstum beliebig lange zu erhalten, oder ungeschlechtliche Sporenbildung, oder Bildung von Geschlechtsprodukten zu veranlassen.

In bezug auf die Technik der Durchführung dieser ungemein wichtigen Versuche muß auf die zahlreichen Erfahrungen verwiesen werden, die in dem zitierten Werke niedergelegt sind.

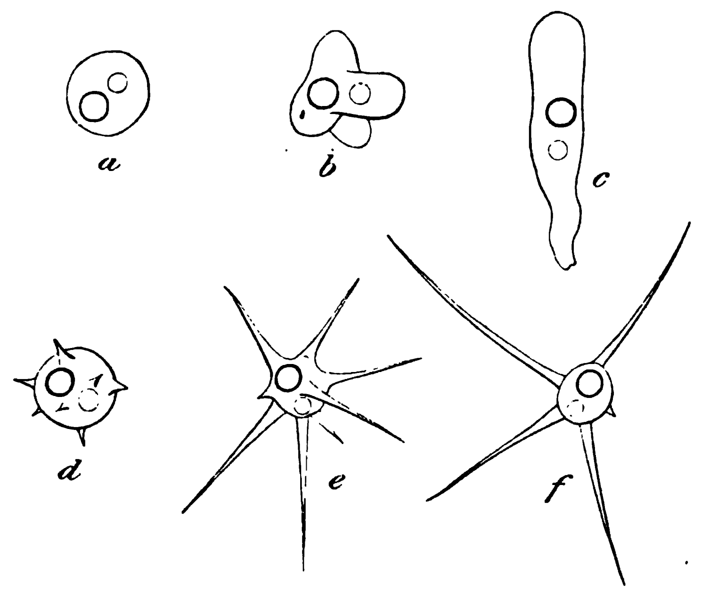


Fig. 47. Amoeba limax. a. Kontrahiert. b. Im Beginn der Pseudopodienbildung (Proteus-Form). c. Gewöhnliche Limax-Form. d, e, f. Formen nach Zusatz von Kalilauge; d. im Beginn der Einwirkung; e, f. radiosa Formen. (Nach Verworn, Allgemeine Physiologie.)

Für Protozoën sind wir in dieser Frage noch sehr zurück, es liegen nur gelegentliche Beobachtungen vor, aus denen hervorgeht, daß auch hier, wie bei Protophyten, das Auftreten bestimmter Entwicklungsstadien streng an bestimmte äußere Bedingungen geknüpft ist.

Daß eine Spezies in ihren charakteristischen Formmerkmalen nur unter konstanten Außenbedingungen beständig ist, läßt sich wohl nirgends so einfach zeigen, wie bei Amöba limax. Verworn (s. Fig. 47) zeigte, daß ein geringer Zusatz von Kalilauge zu der Kulturflüssigkeit genügt, um aus der plumpen Limaxform, mit ihren lappigen, breiten, schnell beweglichen Pseudopodien eine Form hervorgehen zu lassen, die von der systematisch scharf unterschiedenen Amöba radiosa nicht zu unterscheiden ist und sich der Amöba limax gegenüber durch lange, dünne Pseudopodien und große Trägheit der Bewegung auszeichnet.

Versuche für Vorlesung und Praktikum.

Es ist nur eine recht geringe Anzahl von Lebensvorgängen der Protisten, die sich leicht einem größeren Auditorium demonstrieren läßt, und fast noch geringer ist die Zahl der Versuche, die sich für praktische Übungen mit Anfängern eignen, wenn man konsequent an der Forderung festhält, daß im Praktikum der Student selbst den ganzen Versuch ausführen und nicht bloß zusehen soll, wie der Dozent ihn ausführt.

Leicht anzustellen mit einer einigermaßen reichen Paramaecienkultur ist die Biuretprobe. Bei Zusatz der Lauge lösen sich die Leiber restlos, und deutlich tritt die violette Farbe auf.

Recht dankbar zur mikroskopischen Demonstration (eventuell Projektion) ist der Nachweis der Reaktion in den Nahrungsvakuolen und ihre Änderung infolge Sekretion verdünnter Mineralsäuren, der durch die Färbung mit Kongorot und den Farbenumschlag in blau erbracht wird und bei gutgenährten Tieren, die reichlich rot und blau gefärbte Nahrungsvakuolen enthalten, ein schönes Bild gibt.

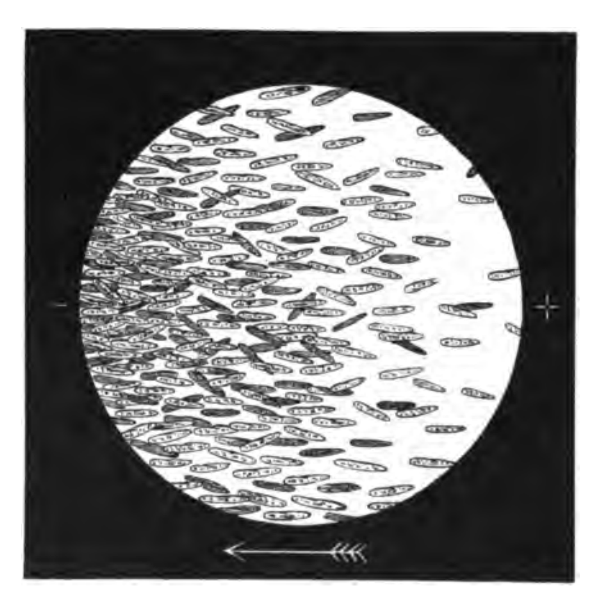


Fig. 48. Negative Galvanotaxis von Paramaecium im mikroskopischen Bilde bezw. im Projektionsbilde.

Steht Spirostomum zur Verfügung, so kann bei geringer Zahl der Zuschauer der Erstickungsversuch und die Erholung im hängenden Tropfen auf der Gaskammer als Demonstrationsversuch empfohlen werden, da in 3—4 Minuten die Lähmung und noch rascher die Erholung eintritt.

Der Versuch über die erregende und lähmende Wirkung der Temperatur ist in der Form, in der Verworn[102]) ihn in seinem Physiologischen Praktikum beschreibt, und in der er im hiesigen Institut geübt wird, sehr bequem in den praktischen Übungen von Studenten ausführbar. Die Anordnung ist oben beschrieben.

Die reichste Ausbeute an Demonstrationsversuchen liefern die taktischen Reizerscheinungen.

Die Geotaxis wird in Röhren von ca. 1 cm Weite und 1 bis 1,5 cm Länge demonstriert. Um eine schöne Ansammlung zu erhalten genügt es etwa 4—6 Stunden vor der Demonstration die Röhre zu füllen und zwar etwa $^1/_3$ mit reichlich paramaecienhaltiger Flüssigkeit, $^2/_3$ mit Leitungswasser, das nicht scharf überschichtet sein darf.

Die Chemotaxis läßt sich mit Jennings Anordnung gut zeigen (s. o.).

Zur Vorführung der Thermotaxis ist Mendelsohns (s. o.) Einrichtung zu verwenden.

Die Krone der Demonstrationsversuche mit Protisten wird wohl stets der Galvanotaxisversuch an rasch schwimmenden Formen: Paramaecium, Colpidium, bleiben, der sich auch sehr gut zur Vorführung im Projektionsapparat eignet (s. Fig. 48), wenn für genügende Kühlung gesorgt wird. Verwendet wird das Verwornsche Reizkästchen und Pinsel, oder Tonelektroden.

Literatur.

1) Oltmanns, Morphologie und Biologie der Algen. Jena, Bd. I. 1904. Es sind die Flagellaten fortgelassen, und bei den Protozoën aufgeführt.

2) Doflein, Das System der Protozoën. Archiv f. Protistenkunde. Bd. I. 1902, S. 169—192.

3) O. Bütschli, Protozoa in Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs. Bd. I. 1870/89.

4) A. Lang, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. II. Aufl. Teil 1.

5) Blochmann, Die mikroskopische Tierwelt des Süßwassers. Braunschweig 1886.

6) Metz, Mikroskopische Wasseranalyse. Berlin, (J. Springer) 1898.

7) Rhumbler, Systematische Zusammenstellung der rezenten Reticulosa. Arch. f. Protistenkunde. Bd. 3. 1903. S. 181—294.

8) Brandt, Koloniebildende Radiolarien; in: Fauna und Flora des Golfes von Neapel.

9) Haeckel, Radiolaria. Challengar Report.

10) Schaudinn, Heliozoa. „Das Tierreich“. Lief. 1.

11) Stein, Der Organismus der Infusionstiere. Leipzig 1867.

12) Oltmanns, Morphologie und Biologie der Algen. Jena, Bd. 1. 1904. Bd. 2. 1905.

13) Angaben über Fang und Erhaltung von Algen gibt Oltmanns, Morphologie und Biologie der Algen. Bd. II. S. 377ff.

14) N. Calkins, Studies on the life history of Protozoa. III. Biological Bulletin of the Marine biological Laboratory. Woods. Hall. Mar. Vol. III. 1902. S. 192—205.

15) P. Statkewitsch, Zur Methodik der biologischen Untersuchungen über die Protisten. Archiv f. Protistenkunde. Bd. 5. 1904. S. 17—39.

16) W. Peters, Metabolism and Division in Protozoa: Contributions from zool. Laboratory of Museum of comp. Zool. of Harward College. Vol. 39. 1904. S. 441—516.

17) Beijerinck, Botan. Zeitung. 1890. S. 725.

18) Tischutkin, Über Agar-Agarkulturen einiger Algen und Amöben. Zentralbl. f. Bakteriol. Abtl. II. Bd. 3. 1897. S. 183—188.

19) Richter, Reinkultur von Diatomeen. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. 21. 1903. S. 493—506.

20) Hans Zumstein, Zur Morphologie und Physiologie der Euglena gracilis Klebs. Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 34. 1900. S. 149—198.

21) M. W. Beyerinck, Kulturversuche mit Amöben auf festem Substrate. Zentralbl. f. Bakteriol. Abtl. I. Bd. 19. 1896. S. 257—267.

22) — Über oligonitrophile Mikroben. Zentralbl. f. Bakteriol. Abtl. II. Bd. 7. 1901. S. 561—582.

23) H. Zaubitzer, Studien über eine dem Strohinfus entnommene Amöbe. Archiv f. Hygiene. Bd. 40. S. 103—141; s. hier auch Literatur über Amöbenzüchtung.

24) E. Gottstein, Über Züchtung von Amöben auf festen Nährböden. Hygienische Rundschau. Bd. 13. 1903. S. 593—596.

25) Henri Mouton, Recherches sur la digestion chez les amöbes. Ann. d. Inst. Pasteur. Ann. 16. 1902. S. 457—509.

26) Tsujitani, Über eine Methode die Infusorien rein zu kultivieren. Mitteil. d.

med. Ges. zu Tokio. Bd. 18. 1904 (japanisch). Referat im Zentralbl. f. Bakteriol. I. Bd. 36. 1905. S. 514.

27) Erich Vahlkampf, Beiträge zur Biologie und Entwicklungsgeschichte von Amoeba limax einschließlich der Züchtung auf künstlichen Nährböden. Arch. f. Protistenkunde. Bd. 5. 1905. S. 167—220.

28) P. Jensen, Die absolute Kraft einer Flimmerzelle. Pflügers Arch. Bd. 54. 1893. S. 537—551.

29) Schaudinn, Ein Mikroaquarium. Zeitschr. f. Mikroskopie u. mikrosk. Technik. Bd. 11. 1894. S. 326—329.

30) Jensen, Über den Geotropismus niederer Organismen. Pflüg. Arch. Bd. 53. 1893. S. 428—480.

31) Ludloff, Untersuchungen üb. den Galvanotropismus. Pflügers Arch. Bd. 59. 1895.

32) Paul Statkewitsch, Zur Methodik der biologischen Untersuchungen über die Protisten. Arch. f. Protistenkunde. Bd. 5. 1905. S. 17—39.

33) Nierenstein, Beiträge zur Ernährungsphysiologie der Protisten. Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 5. 1905. S. 435—510.

34) S. Prowazek, Vitalfärbungen mit Neutralrot an Protozoën. Z. f. wiss. Zool. Bd. 63. 1898. S. 187—194, Taf. 9.

35) Vladislav Ruzicka, Zur Theorie der vitalen Färbung. Z. f. Mikrosk. u. mik. Technik. Bd. 22. 1905/06. S. 91—98.

36) Rhumbler, Der Aggregatzustand und die physikalische Beschaffenheit des lebenden Zellinhaltes. I. II. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 1 u. 2.

37) Vernon, The respiratory exchange of the lower marine Invertebrates. Journ. of Physiol. Vol. 19. 1895/96. S. 18—70.

38) Reinke u. Rodewald, Die chemische Zusammensetzung des Protoplasma von Aethalium septicum. Untersuch. a. d. botan. Laborat. der Univ. Göttingen. 1881.

39) H. Lohmann, Arch. f. Protistenkunde. Bd. 1. 1902. S. 89—165.

40) K. Kölsch, Untersuchungen über die Zerfließungserscheinungen der ciliaten Infusorien. Zool. Jahrb. Abtl. f. Anat. u. Ontog. Bd. 16. S. 273—422.

41) Reinke u. Rodewald, Die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas von Aethalium septicum. Untersuchungen a. d. botan. Labor. d. Univ. Göttingen. 2. Heft 1881 u. 3. Heft 1883.

42) J. Sosnowski, Beiträge zur Chemie der Zelle. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 13. 1899. S. 267—270.

43) Antonin Stolc, Beobachtungen u. Versuche über die Verdauung u. Bildung der Kohlehydrate bei einem amöbenartigen Organismus, Pelomyxa palustris Greff. Z. f. wiss. Zool. 1900. Bd. 68. S. 625—668. T. XII u. XIII.

44) O. Bütschli, Zur Kenntnis der Paramylons. Arch. f. Protistenk. Bd. 7. 1906. S. 197—228.

45) W. Schewiakoff, Über die Natur der sogenannten Exkretkörner der Infusorien. Z. f. wiss. Zool. Bd. 57. 1894. S. 32—56.

46) F. Schaudinn, Untersuchungen üb. den Generationswechsel von Trichosphaerium Siebold. Abhandlgn. d. k. Akad. d. Wiss. Berlin 1899. S. 93. Taf. 6.

47) S. Awerinzew, Die Struktur und die chemische Zusammensetzung der Gehäuse bei den Süßwasserrhizopoden. Arch. f. Protistenk. Bd. 8. 1907. S. 95-111.

48) Oswald Richter, Die Fortschritte der botanischen Mikrochemie seit Zimmermanns „Botanischer Mikrotechnik". Z. f. Mikrosk. u. mikrosk. Technik. Bd. 22. 1905/06. S. 194—261 u. 369—411.

49) O. Treboux, Organische Säuren als Kohlenstoffquelle bei Algen. Bericht d. deutsch. bot. Ges. 23. 1905. S. 432—441.

50) Hans Zumstein, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 34. 1900. S. 149—198.

51) Pütter, Die Ernährung der Wassertiere. Z. f. allg. Physiol. 1907.

52) Otto Huntemüller, Vernichtung der Bakterien im Wasser durch Protozoën. Arch. f. Hygiene. Bd. 54. 1905. S. 89—100.

53) E. Nirenstein, Beiträge zur Ernährungsphysiologie der Protisten (hier weitere Literatur). Z. f. allgem. Physiol. Bd. 5. 1905. S. 435—510. Taf. 1.

54) Henri Mouton, Recherches sur la digestion chez les Amöbes. Ann. de Inst. Pasteur. Ann. 16. 1902. S. 457—509.

55) Mesnil u. Mouton, Sur une diastase protéolytique extraite des Infusoires ciliés. Compt. rendus d. séances de la Soc. d. Biol. T. 55. 1903. S. 1016.

56) Vernon, The respiratory exchange of the lower marine Invertebrates. Journal of Physiol. Vol. 19. 1895/96. S. 18—70.

57) Wakelin Barratt, Die Kohlensäureproduktion von Paramaecium aurelia. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 5. 1905. S. 66—72.

58) Jennings, Studies on reactions to stimuli in unicellular organisms. Journ. of Physiol. Vol. 21. 1897. S. 258.

59) Rhumbler, Z. f. wiss. Zool. Bd. 46. 1888. S 559.

60) Schaudinn, Abhandlgn. d. k. Akad. d. Wiss. Berlin 1899.

61) H. v. Baeyer, Das Sauerstoffbedürfnis der Nerven. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 2. 1903. S. 169—179.

62) Provazek, Studien zur Biologie der Zelle. Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 2. 1903. S. 385—394.

63) Hans Wallengren, Inanitionserscheinungen der Zelle. Z. f. allg. Physiol. Bd. 1. 1901. S. 67—128.

64) Kasanzeff, Experimentelle Untersuchungen über Paramaecium caudatum. Inaug.-Diss. Zürich 1901.

65) P. Jensen, Die absolute Kraft einer Flimmerzelle. Pflügers Arch. Bd. 54. 1893. S. 537—551.

66) Martius, Methode zur absoluten Frequenzbestimmung der Flimmerbewegung auf stroboskopischem Wege. Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt. 1884. Verhandlgn. d. physiol. Ges. zu Berlin. S. 456—460.

67) Jean Massart, Recherches sur les organismes inférieurs. IV Le lancement des Trichocystes. Bulletins de l'Académie royale de Belgique. 1901. Nr. 2. S. 91—106.

68) Verworn, Biologische Protistenstudien. I u. II. Z. f. wiss. Zool. Bd. 46. 1888 u. Bd. 50. 1890.

69) L. Rhumbler, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle. I. Arch. f. Entwicklung. Bd. 7. 1898.

70) Jennings, A method of demonstrating the external discharge of the contractile vacuole. Zool. Anzeiger. Bd. 27. 1904. S. 656—658.

71) K. Kölsch, Untersuchungen üb. die Zerfließungserscheinungen der ciliaten Infusorien. Zool. Jahrb., Abt f. Anat. u. Ontog., Bd. 16. S. 273—422. Taf. 26—28. Textfig. 1902.

72) Th. Bokorny, Vergleichende Studien üb. die Giftwirkung verschiedener chemischer Substanzen bei Algen und Infusorien. Pflügers Arch., Bd. 64. S. 262—306. 1896.

73) W. Korentschewsky, Vergleichende pharmakologische Untersuchungen üb. die Wirkung von Giften auf einzellige Organismen. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. Bd 49. S. 7—31. 1 Taf. 1902.

74) H. Schmaus u. E. Albrecht, Zur Frage der Koagulationsnekrose. Deutsche medizin. Wochenschr., Jahrg. 25. S. 89—91 u. 112—114. 1899.

75) M. J. Rossbach, Die rhythmischen Bewegungserscheinungen der einfachsten Organismen usw. Verhandlgn. d. physik. med. Ges. Würzburg. N. F. 2. 1872. S. 179—242.

76) A. Kanitz, Der Einfluß der Temperatur auf die pulsierenden Vakuolen der Infusorien. Biol. Zentralbl. Bd. 27. 1907. S. 11—25.

77) H. Nikolaus Maier, Über den feineren Bau der Wimperapparate der Infusorien. Arch. f. Protistenk. Bd. 2. S. 73—179. 1903.

78) Pütter, Die Reizbeantwortungen der ciliaten Infusorien. Zeitschr. f. allgem. Physiol. Bd. 3. 1904. S. 406—454.

79) In bezug auf die Einzelheiten der Zerfließungserscheinungen vergl. Kölsch, Zool. Jahrb. Abt. f. Anat. u. Ontog. Bd. 16. 1902. S. 273—422.

80) H. S. Jennings, The behavior of Paramaecium. Journal of comparative Neurology and Physiology 1904. Vol. XIV. S. 441—510.

81) Sosnowski, Anzeiger der Akad. d. Wiss. zu Krakau. März 1899.

82) P. Regnard, Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux. Paris. Ed. Masson. 1891.

83) W. Baratt, Die Wirkung von Säuren und Basen auf lebende Paramaecien. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 4. 1904. S. 438–484.

84) B. Sand, Action thérapeutique de l'arsenic, de la quinine, du fer et de l'alcool sur les infusoires Ciliés. Annales Soc. royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles. I. 10. 1901.

85) Siehe o. Wakelin Barratt, Die Wirkung von Säuren und Basen auf lebende Paramaecien. Zeitschr. f. allgem. Physiol. Bd. 4. 1904. S. 438—484.

86) Barratt, Die Addition von Säuren und Alkalien durch lebendes Protoplasma. Z. f. allg. Physiol. Bd. 5. 1905. S. 10—33.

87) Pütter, Die Wirkung erhöhter Sauerstoffspannung auf die lebendige Substanz. Z. f. allg. Physiol. Bd. 3. 1904. S. 363—405.

88) W. Pfeffer, Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten u. Volvocineen. Untersuch. aus dem botan. Inst. zu Tübingen. Bd. 2.

89) Jennings, Studies on reactions to stimuli in unicellular organisms. I. Journ. of Physiol. Vol. 21. 1897.

90) W. Barratt, Der Einfluß der Konzentration auf die Chemotaxis. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 5. 1905. S. 73—94.

91) Engelmann, Neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung pflanzlicher und tierischer Organismen. Pflügers Archiv. Bd. 25.

92) W. Rothert, Beobachtungen und Betrachtungen über taktische Reizerscheinungen. Flora od. Allg. botan. Zeitung 1901. Bd. 88. S. 372—421.

93) E. Hertel, Über Beeinflussung des Organismus durch Licht, speziell durch die chemisch wirksamen Strahlen. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 4. 1904. S. 1—43.

94) — Über physiologische Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. Zeitschr. f. allgem. Physiol. Bd. 5. 1905. S. 95—122.

95) M. Zuelzer, Über die Einwirkung der Radiumstrahlen auf Protozoen. Arch. f. Protistenkunde. Bd. 5. 1905. S. 358—369.

96) Schaudinn, Über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf Protozoen. Pflügers Arch. Bd. 77. 1899.

97) Oltmanns, Über die photometrischen Bewegungen der Pflanzen. Flora. 1892.

98) P. Statkewitsch, Über die Wirkung der Induktionsschläge auf einige Ciliata. Le Physiologiste Russe. Vol. III. 1903. Moskau. S. 1—55.

99) E. Roesle, Die Reaktion einiger Infusorien auf einzelne Induktionsschläge. Z. f. allgem. Physiol. Bd. 2. 1903. S. 139—168.

100) H. Wallengren, Inanitionserscheinungen der Zelle. Z. f. allgemeine Physiol. Bd. 1. 1901. S. 67—128.

101) R. Hertwig, Über physiologische Degeneration bei Protozoen. Sitzungsber. d. Ges. f. Morph. u. Physiol. zu München. 1900. S. 7.

102) — Über das Wechselverhältnis von Kern u. Protoplasma. Ebenda. 1903. S. 23.

103) Gerassimow, Die Abhängigkeit der Größe der Zelle von der Menge ihrer Kernmasse. Z. f. allg. Physiol. Bd. 1. S. 220—258.

104) G. Klebs, Die Bedingungen der Fortpflanzung bei einigen Algen u. Pilzen. Jena 1896.

105) M. Verworn, Physiologisches Praktikum f. Mediziner. Jena 1907. G. Fischer.

II.

Wirbellose Tiere

von

Albrecht Bethe in Straßburg.

(Mit 7 Figuren.)

Obwohl sich die Überzeugung immer mehr Bahn bricht, daß im Kreis der Wirbellosen für die Beantwortung mancher physiologischer Fragen günstigere Versuchsobjekte zu finden sind als unter den Wirbeltieren, so ist doch die Zahl der Autoren, welche sich mit wirbellosen Tieren eingehend beschäftigt hat, noch recht klein. Zum Teil mag dies daran liegen, daß die meisten der günstigeren Versuchstiere Bewohner des Seewassers sind, für die meisten Forscher also nicht an ihrem gewöhnlichen Wohnsitz zu haben sind. Wenn man aber bedenkt, daß manche guten Versuchstiere wie die Teichmuschel, der Flußkrebs, der Blutegel und andre überall zu haben sind, aber doch nur selten zu Versuchen benutzt wurden, so muß die Ursache wohl noch in andern Umständen gesucht werden. Vor allem scheint mir hier in Betracht zu kommen, daß die meisten Physiologen eine ausschließlich medizinische Vorbildung genossen haben. Infolgedessen sind ihnen nur die anatomischen Verhältnisse des Wirbeltierkörpers geläufig, und bei den häufig sehr geringen Kenntnissen vom Aufbau der Wirbellosen fehlt es ihnen an Fragestellungen, welche auf diese Bezug haben. So sind denn auch die meisten Autoren, welche mit Erfolg an wirbellosen Tieren gearbeitet haben, von Hause aus Zoologen, weil sich in der Regel die Probleme aus dem Objekt ergeben und nicht umgekehrt.

Die Summe von zoologischen Kenntnissen, welche nun aber in Wirklichkeit notwendig ist, um physiologisch damit wirtschaften zu können, ist außerordentlich gering, und kann von jedem in wenigen Wochen erworben werden, wenn er statt ein Lehrbuch zur Hand zu nehmen, an eine zoologische Station geht und sich die lebenden Tiere mit Messer und Schere ansieht. Da wird schnell erkannt, welche Tiere physiologisch brauchbar sind und welchen Problemen sie dienen können.

Von der enormen Zahl Wirbelloser scheiden für den Physiologen diejenigen Formen von vornherein aus, welche selten sind oder nur schwer am Leben erhalten werden können. In der Regel werden sich auch kleine Formen zur physiologischen Analyse als ungeeignet erweisen, wenngleich man, seit der Ausbildung der optischen Hilfsmittel (binokuläre Lupe von Westien, Rostock, oder Zeiß, Jena) auch mit diesen bis zu einem gewissen

Grade fertig werden kann. Eine Anzahl von Tieren ist auch dadurch ungeeignet oder schlecht geeignet, daß trotz einer gewissen Größe die Präparation durch massenhaftes Bindegewebe Schwierigkeiten bereitet (z. B. Tethys). So hat sich schon jetzt durch die stetige Selektion der Forscher ein Stamm mustergültiger Experimentaltiere ausgesondert, in welchem Arten aus fast allen Klassen der wirbellosen Tiere vertreten sind*). Die Zahl der brauchbaren Formen ist aber sicher noch lange nicht erschöpft. Hier kann natürlich nur von diesen bisher brauchbar befundenen Formen die Rede sein.

Die technischen Hilfsmittel, welche zur physiologischen Analyse wirbelloser Tiere bisher in Anwendung gebracht wurden, sind fast ausnahmslos dem üblichen Instrumentarium physiologischer Institute entlehnt. Wo besondere Apparate benutzt wurden, sind diese im folgenden kurz beschrieben; es ist aber auch meist erwähnt, welche von den üblichen Apparaten die Autoren für die jeweiligen Zwecke brauchbar fanden. Die Besonderheiten der Methodik beschränken sich auf die Herstellung physiologischer Präparate und die Technik der Operationen. Für beide Zwecke ist die Kenntnis der topographischen Verhältnisse notwendig. Da in der sehr umfangreichen zoologischen Literatur verständlicher Weise auf die Bedürfnisse der Physiologen wenig Rücksicht genommen wird, so wäre es angebracht, an dieser Stelle die topographische Anatomie der Wirbellosen ausführlich zu behandeln. Bei der außerordentlichen Vielgestaltigkeit der in Betracht kommenden Tiere würde aber der mir zu Gebote stehende Raum bei weitem nicht genügen. Die vorliegenden Zeilen können daher nur zur allgemeinen Orientierung dienen und überheben niemanden der Mühe, selbst das Messer in die Hand zu nehmen und die Anatomie des gewählten Untersuchungsobjektes gründlich zu studieren.

Die Methodik der entwicklungsmechanischen Untersuchungen (welche ja vorwiegend von Zoologen betrieben werden) ist unberücksichtigt geblieben. Die Technik der Versuche über Tropismen und Taxien ist nur an wenigen Stellen erwähnt. Sie deckt sich im allgemeinen mit der von den Botanikern angewandten. Die Technik physiologisch-chemischer Untersuchungen an Wirbellosen ist in v. Fürth's Buch: Vergleichende chemische Physiologie der niederen Tiere, Jena 1903, besprochen.

Ausführlichere Angaben über die Anatomie der wirbellosen Tiere findet man außer in den bekannten kleineren Lehrbüchern der Zoologie in folgenden Werken:

Vogt, C. und Yung, E.: Lehrbuch der praktischen vergleichenden Anatomie. Braunschweig, 1888.

Lang: Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere. Jena 1894. (2. Auflage zum Teil erschienen.)**)

Vayssière: Atlas d' anatomie comparée des Invertébrés. Paris 1890.

Bronn's Klassen und Ordnungen des Tierreichs.

*) Anmerkung: Brachiopoden und Bryozoen wurden bisher nicht auf ihre physiologische Brauchbarkeit untersucht. Es erscheint aber unwahrscheinlich, daß sich hier Objekte von allgemeinerer Bedeutung finden werden.

**) Anmerkung: Aus dem Lehrbuch von Lang ist die zoologische Spezialliteratur leicht zu finden.



Wertvolle Ratschläge für das physiologische Arbeiten mit Wassertieren finden sich in: Uexküll, J. v.: Leitfaden in das Studium der experimentellen Biologie der Wassertiere. 1905.

Die physiologische Literatur ist, soweit sie technisch wichtig erschien und mir zugänglich war, am Schluß zusammengestellt. Zahlen bei den Autornamen verweisen auf diese Zusammenstellung.

Material, Lebensbedingungen und allgemeine Ratschläge.

A. Landtiere.

Die für uns in Betracht kommenden Landtiere rekrutieren sich ausschließlich aus dem Stamm der Würmer (Regenwürmer), der Molusken (Gehäuseschnecken und Nacktschnecken) und Arthropoden (Asseln, Spinnentiere, Tausendfüßler und Insekten). Unter diesen befinden sich für manche Zwecke hervorragend geeignete Experimentaltiere. Fast ausnahmslos sind sie gut in der Gefangenschaft zu halten, da sich leicht die ihnen zusagenden Bedingungen erfüllen lassen. Die zu Versuchen am Nerven- und Muskelsystem und zu Experimenten über Schleimsekretion sehr geeigneten Nacktschnecken halten sich sehr gut, wenn man für genügende Feuchtigkeit sorgt und sie reichlich mit Salat füttert. Man soll nicht zu viele Tiere auf kleinem Raum zusammensperren. Kot, Schleim und verdorbene Nahrung müssen von Zeit zu Zeit entfernt werden; auch dürfen die Tiere nicht in Wasser sitzen, da sonst leicht Infektionen eintreten. Die großen Wegschnecken (Arion) sind im Sommer überall leicht zu sammeln, während man die für manche Zwecke geeigneteren Limax-Arten schon suchen muß (unter Steinen, in feuchten Kellern und Abfallgruben).

Bestimmungen des osmotischen Drucks des Blutes von Land-Wirbellosen sind mir nicht bekannt. Angaben über die Konzentration der zu benutzenden physiologischen Kochsalzlösung können daher nicht gemacht werden. Wahrscheinlich schwankt der osmotische Druck bei ein und derselben Art innerhalb weiter Grenzen. Nacktschnecken können z. B. nach Künkel[51]) durch Verdunstung einen Wasserverlust bis zu $^2/_3$ ihres Maximalgewichts ertragen. Man wird daher gut tun, jede körperfremde Flüssigkeit nach Möglichkeit zu vermeiden.

B. Wassertiere.

a) des Süßwassers.

Wenngleich in unseren Seen und Flüssen Vertreter aller Stämme der Wirbellosen (mit Ausnahme der Echinodermen) vorkommen, so sind doch für physiologische Untersuchungen nur wenige Tiere geeignet; von den Würmern die größeren Plathelminthen und der Blut- und Pferdeegel, von Molusken die Teichmuscheln (Anodonta und Unio) und einige Schnecken (Limnaeus, Planorbis etc.) und von Krustazeen der Flußkrebs. Allen andern Tierarten des süssen Wassers kommt wohl eine allgemeinere Verwendbarkeit nicht zu. Die erstgenannten Tiere bedürfen weder besonderer Pflege, noch größerer Wassermengen; auch ist Durchlüftung des Wassers überflüssig. Blutegel halten sich auch in operiertem Zustand monate- und

jahrelang, wenn nur alle paar Wochen das Wasser gewechselt wird und allzu hohe Temperaturen (über 20° C.) vermieden werden. Teichmuscheln verlangen vor allem Sand zum eingraben. Flußkrebse sind nicht ganz leicht zu halten; langsam fließendes Wasser (Anschluß an die Wasserleitung), Gelegenheit zum Verkriechen (alte Tonröhren) und die Möglichkeit an Land zu gehen, gehören zu den wesentlichen Bedingungen des guten Gedeihens. Auch müssen sie öfter mit Fleisch gefüttert werden. Operierte Tiere halten sich auch bei bester Pflege selten länger als einige Tage oder Wochen.

Der osmotische Druck der Körpersäfte und der Organe ist bei den verschiedenen Invertebraten des Süßwassers sehr verschieden groß, so daß man dementsprechend die zur Benetzung physiologischer Präparate zu verwendenden Flüssigkeiten einstellen muß. Nach Frédericq[30]) beträgt die Gefrierpunktserniedrigung ($\triangle$) bei:

Hirudo	— 0,43°
Limnaea	— 0,22°
Anodonta	— 0,15° bis — 0,21°
Unio	— 0,13°
Astacus	— 0,8 °

Bei Hirudo würde man also ungefähr dieselbe Kochsalz- resp. Ringerlösung benutzen können wie beim Frosch, bei Astacus eine etwas konzentriertere wie bei Säugetieren, während bei den Molusken des Süßwassers wesentlich verdünntere Lösungen anzuwenden wären.

b) des Meeres.

In der Regel wird man zu Versuchen an Seetieren eine zoologische Station aufsuchen, von denen in Europa wohl nur die in Neapel mit dem nötigen physiologischen Instrumentarium ausgerüstet ist. Da manche wichtigen Versuchstiere aber im Mittelmeer nicht vorkommen oder nur in kleinen Formen oder Exemplaren (Mysis und Carcinus), so wird man sie an andern Orten aufsuchen müssen. (Die größten Exemplare von Mysis bei Kopenhagen, Kiel und Helgoland, von Carcinus in Plymouth; an den beiden letzteren Orten gut eingerichtete zoologische Stationen, aber ohne physiologisches Instrumentarium).

Seetiere ins Inland kommen zu lassen, ist zwar möglich, aber bei den großen Mengen von Material, die man in der Regel nötig hat, kostspielig und undankbar. Selbst von den zählebigeren Tieren (Taschenkrebse, Aktinien und Muscheln) geht immer ein Teil während oder nach einem längeren Transport ein.

Am besten wird man die Seetiere im Inlande halten können, wenn man die Aquarien mit natürlichem Seewasser füllt, welches man sich in Glasballons von derselben Station schicken läßt, von der das Tiermaterial stammt. Wichtig ist Reinhaltung des Wassers und stetige Durchlüftung mit einem Wasserstrahlgebläse. Verschiedentlich hat man auch gute Erfolge mit künstlichem Seewasser erzielt. (Vor allem wird man künstliche Lösungen nicht entbehren können, wenn die Notwendigkeit resp. die physiologische Dignität der einzelnen Salze geprüft werden soll). Loeb[58]) wandte zur Herstellung künstlichen Seewassers die von van't Hoff angegebene Proportion der Mole-

kularkonzentration der im Seewasser enthaltenen Salze an: NaCl 100; KCl 2,2; $MgCl_2$ 7,8; $MgSO_4$ 3,8. Hinzugefügt wurden 2 $CaCl_2$. Die Lösung wird in der Konzentration hergestellt, welche dem spezifischen Gewicht des Seewassers entspricht, aus dem die Tiere stammen. Herbst[42]) löst 3 gr. NaCl; 0,07 KCl; 0,26 $MgSO_4$; 0,32 $MgCl_2$ und 0,1 $CaSO_4$ in 100 ccm dest. Wasser, läßt mit etwas phosphorsaurem Kalk stehen, filtriert ab, fügt $CaCO_3$ zu, leitet CO_2 ein, läßt an der Luft stehen (oder leitet Luft durch) und filtriert nochmals ab.

Physiologisch für die verschiedenartigsten Zwecke verwertbare Seetiere gibt es aus allen Stämmen und Klassen der Wirbellosen, mit Ausnahme des Unterstammes der Tracheaten, welche ja zum größten Teil Landtiere sind. Die wichtigsten Versuchstiere sind in den späteren Abschnitten aufgeführt und es sind stets die Monate mit römischen Zahlen angegeben, in denen die betreffenden Tiere nach den Tabellen von Lo Bianco[59]) auf der zoologischen Station zu Neapel in größeren Mengen zu haben sind.

Behandlung der Instrumente: Seewasser greift fast alle Metalle (mit Ausnahme reiner Edelmetalle und des Bleies) stark an. Besonders Stahl- und Eisenwerkzeuge sind bald durch Rost zerfressen, wenn sie nicht gut lackiert sind oder mit besonderer Vorsicht behandelt werden. v. Uexküll empfiehlt alle schneidenden Instrumente dauernd unter Öl aufzubewahren und beim Gebrauch nur oberflächlich abzuwischen. Diese Methode erfüllt zwar ihren Zweck, ist aber in der Praxis nicht sehr angenehm. Ich habe meine Instrumente (und Apparate) stets dadurch vor Rost schützen können, daß ich sie nach dem Gebrauch mit süßem Wasser gut wusch, abtrocknete und mit wenig Vaselin einrieb.

Bei der elektrischen Reizung von Seetieren muß man im Auge behalten, daß der Leitungswiderstand des Seewassers verhältnismäßig sehr gering ist. Man wird deshalb die zu reizenden Teile, wenn irgend möglich, während der Reizung der Luft aussetzen. Muß man unter Wasser reizen, so hat man die Elektroden bis zur Reizstelle gut zu isolieren. Am besten schmilzt man die Platindrähte (es wird sich ja fast nie um unpolarisierbare Elektroden handeln) in Glaskapillaren ein, aus denen das Reizende nur etwa einen halben Millimeter vorsteht.

Als physiologische Salzlösung kann man bei fast allen Meerestieren das Seewasser benutzen, in dem sie leben. Dies lehrt die bisherige Erfahrung, denn es halten sich ausgeschnittene Organe vieler Tiere stunden- und manchmal tagelang in Seewasser lebensfrisch, es wird aber auch gestützt durch die Theorie: Bottazzi[11]) fand die Gefrierpunktserniedrigung des Blutes von Coelenteraten, Echinodermen, Würmern, Krustazeen, Zephalopoden (und Selachiern) gleich dem des Seewassers (2,3°), nachdem Frédericq[28]) bereits früher gezeigt hatte, daß die Proportion der löslichen Salze des Blutes von Seetieren annähernd gleich der des Meerwassers ist. (Nur bei den Teleostieren ist der osmotische Druck des Blutes geringer als der des umgebenden Wassers, $\triangle = -0{,}74^0$ bis $-1{,}04^0$). Trotzdem wird man bei den Tieren, welche viel und nur langsam gerinnendes Blut haben, z. B. bei Aplysia vorziehen, das eigne Blut der Tiere als Anfeuchtungsmittel zu benutzen, besonders da Frédericq[29]) hervorgehoben hat, daß die Zusammensetzung der osmotischen wirksamen Substanzen im Blut und im Seewasser verschieden ist.

Asepsis, Wundverschluss und Narkose.

Im allgemeinen sind die Wirbellosen, wie auch schon die niederen Wirbeltiere, gegen die gewöhnlichen Infektionen nicht sehr empfindlich. An unbedeckten Wundrändern sieht man zwar besonders bei Molusken Verfärbungen auftreten, welche wohl auf bakterielle Einflüsse zurückzuführen sind, auch kann bei sehr geschwächten Tieren Fäulnis einzelner Teile des Körpers (meist von Wundstellen aus) eintreten, die dann bald zum Tode des ganzen Individuums führt. Derartige Infektionen lassen sich aber bei Wassertieren in der Regel durch genügenden Wechsel des Wassers und reichliche Durchlüftung desselben fernhalten. Am empfindlichsten gegen Infektionen scheinen mir die Arthropoden zu sein. Immerhin ist die Gefahr, operierte Tiere durch Infektionen zu verlieren, so gering, daß es sich nicht lohnt, eine strenge Asepsis durchzuführen. Die übliche Reinlichkeit des kultivierten Menschen, oberflächliche Säuberung des Operationsfeldes mit Alkohol oder Sublimatlösung und halbstündiges Einlegen der Instrumente in 60 % Alkohol oder 3 % Karbollösung genügen, um in den meisten Fällen gute Resultate zu erzielen. Antiseptika in die Wundhöhlen hineinzubringen, ist nach meinen Erfahrungen ganz unzweckmäßig; es sind daher auch die Operationsinstrumente vor dem Gebrauch mit steriler Watte zu trocknen oder mit gekochtem Seewasser (resp. physiologischer Kochsalz-Lösung) zu waschen.

Wundverschluß: Ein vollständiger Verschluß der Operationswunden ist unerläßlich, da ein Stehenbleiben der Blutung bei dem nicht geschlossenen Gefäßsystem, der mangelhaften oder fehlenden Gefäßmuskulatur und der fast immer geringen Gerinnungsfähigkeit des Blutes ausgeschlossen ist.

Bei allen Tieren mit weichem Integument können die Wunden in der üblichen Weise genäht werden. Der Wundverschluß wird bei allen Formen mit stark entwickelter subepithelialer Muskulatur (Hautmuskelschlauch; viele Mollusken und Würmer) unterstützt durch die starke, lokale Muskelkontraktur, welche sich um die Operationswunde einzustellen pflegt. Bei Landtieren kann man sich mit der einfachen Naht begnügen. Bei Wassertieren ist es aber zweckmäßig, die Wunde gegen das Eindringen von Wasser noch weiter zu schützen. Recht vorteilhaft erweist sich dazu eine Gelatinegallerte von hohem Verflüssigungspunkt (ca. 35—40°), welche man heiß auf die vorher abgetrockneten Wundränder aufträgt (Steiner[78]). Steiner macht die Gelatineschicht noch wasserunlöslich durch Bestreichen mit konzentrierter Tanninlösung; da sich aber die Gelatineverbände infolge der Sekretion von seiten der Haut fast bei allen Tieren nach ein bis drei Tagen ablösen, ob sie mit Tannin behandelt sind oder nicht, so habe ich die Tanningerbung ganz aufgegeben, weil sie häufig zu Reizerscheinungen und Nekrose der Haut Anlaß gibt. Nach ein bis zwei Tagen sind die Wundränder gewöhnlich gut verklebt, so daß eine Erneuerung des Verbandes unnötig ist. Bei Seetieren, die ja in einem fast physiologischen Medium leben, ist der Gelatineverband überhaupt nur nötig, wenn die Wunde durch die Naht nicht zu vollkommenem Verschluß gebracht werden kann.

Schwieriger ist der Wundverschluß bei Tieren mit Schale oder hartem Panzer (Arthropoden, Muscheln, Schnecken). Da man zur Operation gezwungen ist, ein größeres Stück des Panzers zu entfernen, muß eine Pro-

these angelegt werden, damit sich die Tiere nicht verbluten. Der auch für diese Tiere von Steiner empfohlene Verschluß mit Gelatine ist natürlich ganz ungenügend, da er nur kurze Zeit hält.

Die einzig brauchbare Methode besteht in dem Verschluß mit Wachs und wurde von Lemoine zuerst angegeben und von mir (Bethe [3]) S. 538) weiter ausgebildet. Die Ränder der Öffnung im Chitinpanzer resp. in der Kalkschale werden nach beendeter Operation (Eröffnung siehe unten bei Arthropoden) mit trocknem Fließpapier von Blut vollständig befreit. Darauf wird aus Modellierwachs (am besten geeignet das blaue englische) eine Platte geformt, welche etwas größer ist als die Wundöffnung und diese vorsichtig auf die Öffnung gelegt und zwar so, daß kein Blut unter der Wachsplatte hervortritt. (Wenn an mehreren Stellen Blut ausgetreten ist, so muß die Platte nochmal entfernt werden; ist nur an einer Stelle etwas übergetreten, so wird es vorsichtig mit Fließpapier abgesaugt.) Darauf wird ein Spatel oder Draht soweit erwärmt, daß es zischt, wenn er aufs Wachs kommt, und mit diesem der Rand der Wachsplatte unter gleichzeitiger Berührung des Panzers umfahren. Es ist zweckmäßig, an jedem Punkt mit dem heißen Instrument einige Zeit zu verweilen, damit nicht nur das Wachs schmilzt, sondern auch das Chitin resp. die Kalkschale sich genügend erwärmt. Gut angelegte Wachsplatten halten Wochen und Monate, auch bei Tieren, die sich viel bewegen und herum wälzen.

Narkose: Für alle die Tiere, welche man gut fesseln kann, ist die Narkose überflüssig, wenigstens bei Operationen. Außerdem sind die meisten wirbellosen Tiere gegenüber den wirksamen Dosen sehr empfindlich, so daß sie leicht nachträglich eingehen. Bei manchen Tieren aber, die sich nicht oder nur schlecht fesseln lassen, z. B. Aktinien, Würmern, Nacktschnecken usw. sind feinere Operationen ohne Lähmungsmittel schwer auszuführen. Äther und Chloroform geben ganz schlechte Resultate, besonders das Chloroform, das einmal einen starken Hautreiz setzt und zweitens die glatte Muskulatur in einen sich nicht oder nur sehr langsam lösenden Kontraktionszustand versetzt. Für Würmer empfiehlt Fürst [40]) 5—7 Proz. Alkohol (Einwirkungsdauer 5—6 Stunden). v. Uexküll [90]) empfiehlt die Kombination von Wärmelähmung und Alkohol-Narkose (4 % Alkohol bei 32—34° C). Bei Aktinien gibt Chloralhydrat leidliche Erfolge; häufig tritt allerdings der Tod ein. Bei Aplysia wird nach dem Vorgang von Schönlein [76]) Pelletierin mit sehr gutem Erfolg angewandt. Auch Cocain leistet hier (Jordan) und an anderen Objekten gute Dienste. Häufig kann auch Kohlensäure (bei Wassertieren Einleitung ins umgebende Wasser) eine brauchbare, weil vorübergehende Lähmung herbeiführen (v. Uexküll [93])).

Coelenteraten.

A. Spongien.

Bei den außerordentlich schwach entwickelten animalen Funktionen der Spongien können dieselben wohl nur für physiologisch-chemische Fragen in Betracht kommen (siehe v. Fürth).

B. Cnidarier.

Zoologisch werden die Cnidarier eingeteilt in Hydrozoen (Hydromedusen), Scyphozoen (Scyphomedusen) und Anthozoen. Die Hydrozoen und Scyphozoen treten meist in zwei morphologisch und physiologisch ganz verschiedenen Formen auf: als (in der Regel) festsitzende, häufig kolonienbildende, ungeschlechtliche Polypen (Hydroidpolypen und Scyphopolypen) und als freischwebende Medusen (craspedote Medusen der Hydrozoen und acraspede Medusen der Scyphozoen). Bei der großen physiologischen und auch morphologischen Ähnlichkeit der Hydroidpolypen und Scyphopolypen einerseits und der craspedoten und acraspeden Medusen andrerseits ist es zweckmäßig, sich hier nicht an die ja zweifellos richtige zoologische Einteilung zu halten, sondern die Polypen (mit Einschluß der Anthozoenpolypen) zusammen und die Medusen zusammen zu betrachten.

Polypen.

Abgesehen von den großen morphologischen Verschiedenheiten ist allen nicht degenerierten oder reduzierten Polypen folgendes gemeinsam: Der Körper besteht aus einem muskulären Blindsack, dessen Innenraum den Magen bildet. Die einzige Öffnung ist Mund und After zugleich, wird aber als Mund bezeichnet. Um den Mund stehen in radiärer Anordnung eine größere oder kleinere Anzahl beweglicher Tentakel. Mit dem aboralen Pol sind die Tiere entweder festgewachsen (die Oktokorallien, die meisten Hydroidpolypen und ein Teil der Hexakorallien) oder er ist zu einer Fußplatte umgebildet, mit der sie in nicht genauer untersuchter Weise Kriechbewegungen ausführen können (Hydra des süßen Wassers und alle Aktinien mit Ausnahme der Zoantheen). Das Nervensystem ist subepithelial und diffus im ganzen Körper verbreitet; nur bei wenigen Formen existieren Andeutungen von Zentralisation.

Zu physiologischen Untersuchungen haben sich wegen ihrer Größe hauptsächlich die Aktinien (Seerosen) als brauchbar erwiesen. Verdauungsversuche sind leicht ausführbar (siehe v. Fürth). Nervenpräparate können wegen der diffusen Verbreitung der Nerven nicht angefertigt werden; auch keine Muskelpräparate, da es nicht gelingt, die Muskelzüge rein zu erhalten. Dagegen eignen sich die Tiere sehr gut zum Studium der Funktion einfacher Nervennetze und undifferenzierter rezeptorischer Endorgane. Das Studium der Reflexe ganzer und zerteilter Tiere hat schon zu einer Menge interessanter Resultate (Loeb[56]), Parker[67]), Nagel[65])) geführt.

Versuche über die Umkehr der Cilienbewegung unter dem Einfluß von Ionen machte Parker[68]).

Sehr geeignet sind Polypen (nicht nur Aktinien) auch zu Untersuchungen über Regeneration und Tropismen (Loeb[54])).

Bei vielen Hydroidpolypenkolonien (Tubularien, Pennarien, vor allem den Siphonophoren) besteht ein nervöser (und auch nutritiver) Zusammenhang zwischen den einzelnen Individuen. Bis jetzt existiert nur eine kurze Untersuchung über diese Verhältnisse, welche nach eignen Orientierungsversuchen recht interessant zu sein scheinen (Zoja.[99])

Material: Aktinien und festsitzende Hydroidpolypenkolonien in Neapel das ganze Jahr zu haben; die pelagischen Siphonophoren hauptsächlich im Winter und Frühjahr.

Medusen.

Diese frei im Wasser schwebenden Glocken sind zu physiologischen Versuchen wegen ihrer Durchsichtigkeit, ihrer Zählebigkeit und ihres schematisch klaren Körperaufbaues besonders geeignet. Bei craspedoten wie acraspeden Medusen bildet die Hauptmasse des Körpers die radiäre Schirmglocke, von deren Konkavität (Subumbrella) der vielgestaltige Magenstiel (Manubrium) in der Mitte herabhängt. Bei den craspedoten Medusen setzt sich der Schirmrand unter Verdünnung nach innen zu einem muskulösen Ringbande fort, dem Velum oder Craspedon. Den Acraspeden fehlt das Velum. (Ihr Rand ist stets gelappt). Am Schirmrand interessieren ferner die in verschiedner Zahl und Länge herabhängenden, mit Längsmuskulatur versehenen (bei manchen Acraspeden fehlenden) Tentakeln und die „Randkörper", welche stets Statozysten, bei manchen Hydromedusen daneben auch einfache Ozellen enthalten.

Die Glocke besteht zum größten Teil aus Gallerte und ist auf der Exumbrella (Konvexität) mit einem einfachen, muskel- und nervenlosen Epithel überzogen, während sich auf der Subumbrella unter dem Epithel eine dünne Schicht quergestreifter Muskulatur ausgebreitet; zwischen dieser und dem Epithel, bei manchen Arten z. T. noch im Epithel, liegt der Nervenplexus, ein diffuses Nervennetz. Bei den Craspedoten ist das Nervennetz am Schirmrand zum Randring verdichtet, von welchem an den Radien die mit Ganglienzellen untermischten Randnerven gegen das Zentrum ziehen. Bei den Acraspeden sind diese Verdichtungen des Nervennetzes nur angedeutet; die Hauptverdichtungen liegen hier an den Randkörpern.

Brauchbarste Versuchstiere: 1. Craspedote: Carmarina hastata (Winter und Frühjahr) [Gonionemus Murbachii, in Amerika sehr beliebt. Nur in Woods Holl häufig VI—X]. 2. Acraspede: Aurelia aurita (Ostsee und Nordsee VII—IX im Mittelmeer selten); Rhizostoma pulmo (große Exemplare I—XII, kleine IV—V); Cotylorhiza tuberculata (VII—XII—I).

Muskelpräparate frei vom Nervennetz sind nicht herstellbar. Die Medusen sind vor allem geeignet zur Erforschung einfacher Reflexe vermittelt durch typische Nervennetze, ferner zur Untersuchung der Statozysten-Funktionen und der Ursachen rhytmischer, nervös vermittelter Bewegungen. (Romanes[73],[74]) Nagel[66]), Loeb[57]), v. Uexküll[89]), Yerkes[98]), Bethe[5]) p. 106 u. 408.)

Operationen: Sehr angenehm für die Untersuchung ist, daß sich Teilstücke der Tiere, auch sehr kleine, bei guten Wasserverhältnissen (gute Durchlüftung, Fernhalten von Schmutz, niedrige Temperatur) tagelang lebend erhalten lassen. Zu Zerstückelungsversuchen und Operationen ist eine Immobilisierung unnötig (wenn nötig, am besten mit Kohlensäure). Man legt die Tiere einfach in eine mit Wachs ausgegossene Präparierschale, die Subumbrella nach oben und bedeckt sie mit ganz wenig Wasser; eventuell kann man sie mit einigen Nadeln ohne Schaden feststecken. — Die Exstirpation der Randkörper ist ganz leicht; vollständige Entfernung derselben hebt die rhythmischen Bewe-

gungen ganz auf, während sie bei Gegenwart eines noch fortdauern. Um in exakter Weise kombinierte kreisförmige Schnitte bei lebenden Medusen anzulegen, benutzt A. G. Mayer[64]) Systeme von scharfen an einer Seite offenen Blechringen, welche durch den Medusenkörper hindurchgedrückt werden.

Registrierung der Bewegungen: Das Gewebe ist genügend resistent, um die Bewegungen der Glocke (auch der Tentakeln) auf einen Hebel zu übertragen. Romanes[74]) brachte direkt an der Glocke einen Strohhalm an. Zweckmäßiger ist es Fadenübertragung zu benutzen, indem man in den Schirmrand einen Draht- oder Glashaken einsetzt. Von intakten Cotylorhizen und randkörperlosen Tieren andrer Arten (zur Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit) bekommt man gute Kurven, wenn man die Tiere mit der Exumbrella nach unten in eine Präparierschale legt, einige Stecknadeln durch das nervenfreie Zentrum spießt (nach Entfernung des unnötigen Magelstiels) und die Schale bis zum freien Flottieren des Schirmrandes mit Wasser füllt. Carmarina und Rhizostoma schreiben, wenn un-

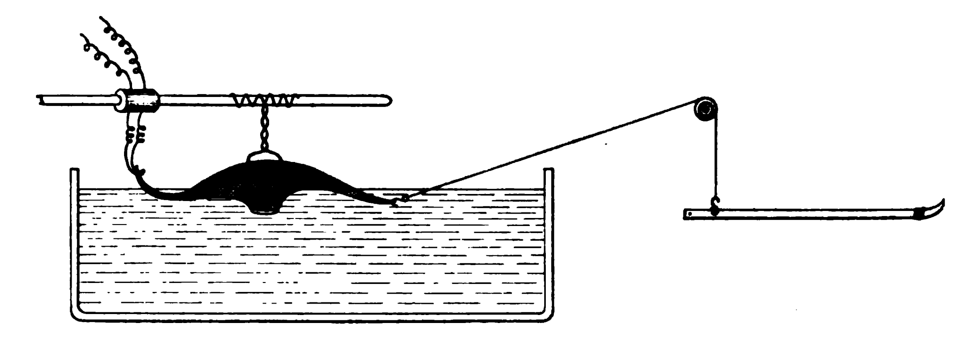


Fig. 1.

verletzt, in dieser anomalen Lage keine regelmäßigen Kurven, weil sie dauernd bestrebt sind, die Normallage wieder zu gewinnen. Hier wird ein ruhiges Arbeiten erreicht, wenn man folgendermaßen verfährt: Nachdem das Manubrium abgeschnitten ist, werden zwei U-förmig gebogene starke aber weiche Kupferdrähte (Abstand der Schenkel von einander ca. 2 cm) von der Subumbrella aus nach oben durch das nervenlose Glockenzentrum so hindurch gestochen, daß die Stichöffnungen ungefähr ein Quadrat bilden. Auf der Glockenoberseite werden je zwei Drähte zusammengedreht. Das Tier wird jetzt in ein größeres Gefäß mit Seewasser gebracht, über dessen Oberfläche zwei Glasstäbe horizontal (mittelst eines daneben stehenden Statifs) befestigt sind. Um diese Glasstäbe werden die freien Enden der Drähte fest herumgewickelt (Fig. 1). Das Tier schwebt dann in normaler Lage im Wasser, kann aber nicht seinen Platz verändern. Darauf wird an einer (oder mehreren Stellen) des Schirmrandes ein Haken eingesetzt, von dem aus die Übertragung zum Schreibhebel durch einen Faden, der über Rollen läuft, bewerkstelligt wird. Um gleichmäßige Kontraktionen zu erziehlen ist es zweckmäßig den Hebel nur schwach zu belasten und es zu vermeiden, daß der Schirmrand bei der Diastole über die Wasseroberfläche kommt. Sollen Extrasystolen erzeugt oder zu andern Zwecken Reize angesetzt werden,

so befestigt man am besten zwei leicht bewegliche, mit der sekundären Spirale des Induktionsapparates verbundene Hakenelektroden an einem Glasstab über dem Bassin und legt eine Stelle des Schirmrandes so über die Haken, daß sie dauernd über der Wasseroberfläche bleibt (Fig. 1).

Bei Studien über den Einfluß der Temperatur kann man entweder das Bassin, in dem sich das Versuchstier befindet, direkt mit Hilfe eines untergesetzten Wasserbades anheizen oder unter Benutzung eines Überlaufhebers aus einem zweiten Gefäß langsam warmes Seewasser zulaufen lassen.

Bei Anstellung der Versuche (besonders an Teilstücken) ist darauf zu achten, daß die Muskulatur nicht bei allen Formen eine zirkuläre Anordnung hat. Bei Carmarina und Rhizostoma gibt es nur zirkulare Muskulatur, bei Cotylorhiza neben der nahe am Schirmrand gelegenen zirkulären Muskulatur

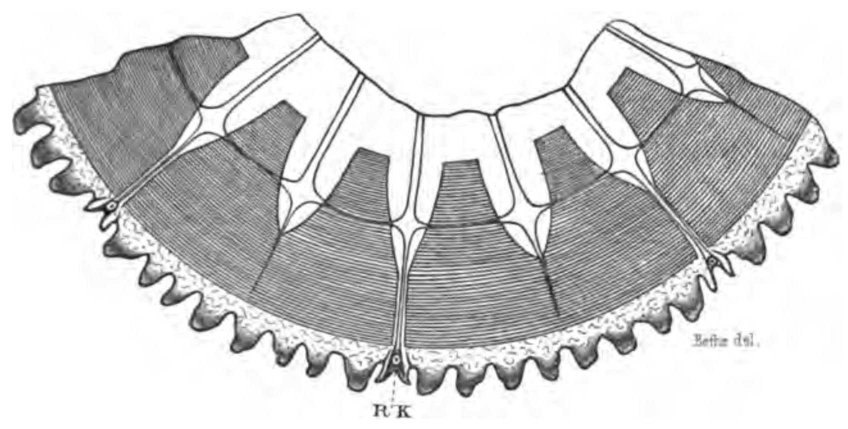


Fig. 2.

Anderthalb Quadranten vom Schirm einer Rhizostoma von der Unterseite gesehen. RK—Randkörper. Die muskelfreien Felder sind weiß gehalten, die Muskelfelder sind dem Verlauf der Fasern entsprechend zirkulär schraffiert.

eine mehr dem Zentrum zu gelegene in der Hauptanordnung radiäre Muskulatur. Die Latenz der radiären Muskulatur ist weit geringer als die der zirkulären.

Für den Nachweis der neurogenen Natur der Leitung und zu vielen damit zusammenhängenden Versuchen ist Rhizostoma besonders geeignet, weil sich hier die Muskulatur nicht gleichmäßig auf der Subumbrella ausbreitet, sondern in flaschenförmigen Sektoren angeordnet ist, zwischen denen breite nur Nerven enthaltende Flächen freibleiben (Fig. 2).

C. Ctenophoren (Rippenquallen).

Bei diesen Tieren wird, wie bei den Medusen, wohl in erster Linie der Bewegungsapparat interessieren. Das — von manchen Autoren bis in die neueste Zeit geleugnete — Nervensystem besteht in einem diffusen Nervennetz subepithelialer Natur, das nur am aboral gelegenen „Sinnespol“ Andeutungen von Verdichtung zeigt. Der ganze Gallertkörper enthält kon-

traktile Elemente. Die zwei langen, in Taschen zurückziehbaren Tentakel zeigen ähnliche Reaktionen wie die der Medusen und können wie diese ihre Bewegungen auch noch nach Abtrennung vom Körper ausführen. Die eigentlichen Bewegungsorgane sind die Geißelplättchen, welche zu radiären Reihen angeordnet sind. Die Plättchen einer Reihe schlagen stets rhythmisch und koordiniert, auch zeigen die einzelnen Reihen untereinander bei intaktem Sinnespol, wenn nicht infolge eines Reizes gesteuert wird, synchrone Bewegungen. Die Ursachen dieser rhythmischen Bewegung sind noch gänzlich unaufgeklärt. Über die Koordination sind einige Aufschlüsse durch Zerstückelungsversuche (Eimer[24]) erzielt. Technisch haben dieselben keine Schwierigkeit.

Material: Beroe ovata (Winter und Frühjahr), Bolina hydatina (Herbst), Eucharis multicornis (ganze Jahr), Callianira bialata.

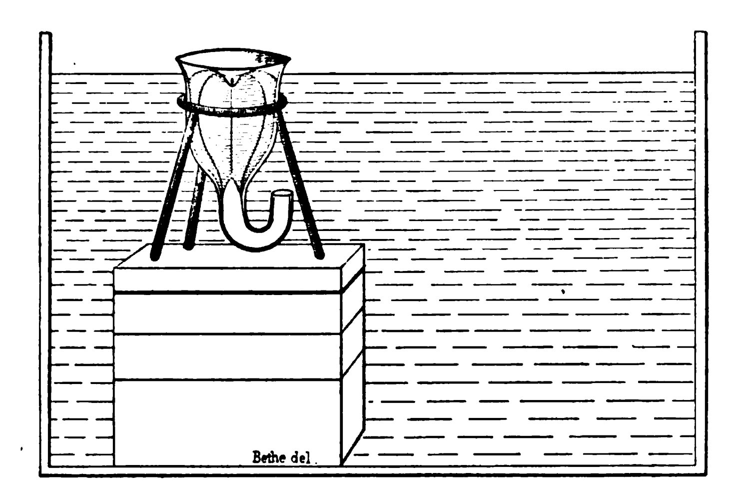


Fig. 3.

Der Sinnespol besteht in der Hauptsache aus einem auf elastischen Federn ruhenden Stein. Dies Gebilde ist etwas versenkt und durch Haare gegen das Wasser hin geschützt. Es wird als Statozyste angesprochen, wofür auch von Verworn[95]) ausgeführte Experimente sprechen. Weitere Untersuchungen dürften aber noch zu interessanten Ergebnissen führen können. Die Fortnahme des Statolithen ist eine sehr delikate Operation. Verworn empfiehlt folgende Methoden: Bei Eucharis wurde eine lange fein ausgezogene Glasröhre mit der Spitze bis dicht an den Statolithen geführt und dann das Wasser mit dem Munde angesaugt. Der Stein reißt dabei ohne größere Verletzungen los. Bei Beroe gelingt es nicht auf diese Weise den Stein zu entfernen. Hier wurde das Tier mit der Hand gehalten und der Sinnespol mit einem heißen Draht ausgebrannt.

Da, wie mir scheint, die Bedeutung des Sinnespols mit der Gegenwart des Statolithen nicht erschöpft ist, an dieser Stelle vielmehr auch die Leitungsbahnen der Plättchenreihen in Beziehungen zueinander treten, so ist bei der Operation vor allem darauf zu sehen, daß wirklich nichts weiter ge-

schieht, als die Fortnahme des Steines selber. Beim Ausbrennen wird natürlich auch das umgebende Gewebe zerstört und auch das Aussaugen scheint nach meinen eignen Versuchen nicht ganz unverfänglich. Bei meinen eigenen (bisher nicht veröffentlichten) Untersuchungen (1899) schien mir Callianira trotz ihrer Kleinheit durch die günstige Lage des Organs besonders geeignet. Als „Operationstisch" wurde eine trichterförmig sich verengende, U-förmig abgebogene Glasröhre verwendet, welche auf einem beschwerten kleinen Stativ befestigt war (Fig. 3). Mit diesem Rohr ging ich unter das freischwimmende Tier und ließ es, mit dem Pol nach oben, in den Trichter hineinschlüpfen. Das erfordert einige Geduld. Anfassen des Tieres ist bei der Zartheit ausgeschlossen. Das Stativ wird jetzt so hoch gestellt, daß der Pol grade eben die Wasseroberfläche berührt. Auf die Weise keilt sich das Tier durch seine eigene Schwere so fest ein, daß es sich nicht rühren kann, aber trotzdem nicht im geringsten leidet. Unter der Westienschen Lupe kann jetzt das Operationsfeld bei geeigneter seitlicher Beleuchtung gut übersehen und der Stein mit einer ganz feinen Ewaldschen Scherenpinzette entfernt werden. Ich glaube mich überzeugt zu haben, daß bei den so operierten Tieren die von Verworn beschriebene, vollkommene Aufhebung der Plättchen-Koordination fehlt, daß aber trotzdem das Gleichgewicht stark geschädigt ist. Eine weitere Untersuchung wäre am Platze.

Echinodermen.

Zoologisch würden sich an die Coelenteraten zunächst die Würmer anreihen; physiologisch haben aber die Echinodermen mit den Coelenteraten mehr gemein, so daß sie hier zuerst besprochen werden sollen. Von den fünf Klassen der Echinodermen sind Vertreter der Crinoiden (Haarsterne) und der Asteroiden (Seesterne) bisher noch nicht zu eingehenden physiologischen Versuchen benutzt worden, trotzdem auch sie eine Menge interessanter Ergebnisse erwarten lassen.

A. Echinoideen (Seeigel).

Bei diesen Tieren tritt uns zum erstenmal eine große Leibeshöhle entgegen, welche sie zu manchen Experimenten geeignet macht, die an den bisher betrachteten Wirbellosen unausführbar sind. In der nach außen von der harten Kalkschale umgrenzten Höhle flottiert an den Mesenterien aufgehängt der Darm. Außerdem beherbergt sie die Geschlechtsorgane, das Wassergefäßsystem (Ambulacralsystem), einen Teil des Nervensystems (Nervenring und Radialnerven) und den Kauapparat (Laterne des Aristoteles) mit seinen ziemlich langen glatten Muskeln. Die ganze Bewegungsmuskulatur besteht aus sehr kleinen Muskelchen und liegt auf der Schalenoberfläche, zwischen dieser und dem sie überziehenden Epithel. Hier findet sich auch der Hauptteil des Nervensystems, der subepitheliale Plexus.

Material: Seeigel sind im Mittelmeer das ganze Jahr durch zu haben; Sphaerechinus granularis ist sehr häufig und wird am meisten benutzt; für einige Fragen sind aber andere Arten (Arbacia und Centrostephanus [selten]) geeigneter.

Resorptionsversuche: Um den Stofftransport aus dem Darm in die Leibeshöhle zu untersuchen, steckt Cohnheim[20]) ein Glasröhrchen in die Mundöffnung und läßt 10—12 ccm der zu untersuchenden Lösung in den Darm laufen, wobei die Laterne rythmisch gehoben und gesenkt wird. Wenn man nach einigen Minuten die Röhre herauszieht, so fließt auch beim Umdrehen nichts von der eingebrachten Flüssigkeit aus. — Sollte umgekehrt der Stofftransport aus der Leibeshöhle in den Darm untersucht werden, so wurde am aboralen (bei natürlicher Lage nach oben gerichteten) Pol neben dem After ein kleines Loch in die Schale gebohrt, durch welches die zu untersuchende Lösung in die Leibeshöhle eingeführt wurde. Um Auslaufen von Leibesflüssigkeit zu verhindern, wurden die Tiere nur so weit ins Seewasser gesetzt, daß die oberste Kuppe noch herausragte. (Mit Hilfe eines Wachsverbandes [siehe oben S. 75] dürfte es aber auch hier gelingen das Loch wieder vollkommen zu verschließen). Vor Beendigung des Versuches muß man sich davon überzeugen, daß die Tiere noch ganz lebensfrisch sind, am besten durch Prüfung der Stachelreflexe.

Muskelpräparat: Biedermann[8]) benutzte die Laternenmuskeln zu Untersuchungen über die polare Erregung glatter Muskulatur durch den konstanten Strom. Die Seeigel wurden in der Mitte durchgeschnitten und von der unteren Schalenhälfte soviel abgebrochen, als zum Anbringen der Elektrode nötig ist. Die Kauzähne wurden herausgezogen und die Muskeln von anhaftenden Membranen befreit. Darauf wurde die Schale so in Wasser gestellt, daß die Laterne herausragt, und die eine Elektrode ins Seewasser getaucht, die andere an einen Muskel angelegt.

Nervensystem: Die Seeigel sind die besten Repräsentanten der Reflexrepubliken. Die Schale ist auf der Oberfläche mit einer großen Anzahl verschiedenartiger effektorischer Organe besetzt (Stacheln, mehrere Arten von Pedizellarien — kleiner Zangen verschiedenartiger Funktion — und Saugfüße), welche eine mehr oder weniger große physiologische Selbständigkeit besitzen. Die Pedizellarien können z. B. wie Blumen abgepflückt und auf ihre Reflexe untersucht werden. Alle Reflexe dieser einzelnen Organe sowie die Art und das Zustandekommen ihres Zusammenarbeitens sind durch v. Uexküll[88]) aufs eingehendste untersucht, so daß dieses Kapitel vorläufig als abgeschlossen gelten kann. Die angewandte Technik ist im ganzen ziemlich einfach, kann aber ohne genaueres Eingehen auf die einzelnen Probleme nicht besprochen werden.

Fesselung: Zum Fesseln unverletzter Tiere fand v. Uexküll[93]) [p. 84] nur ein Mittel geeignet: Ein Ring aus Hartgummi (12—15 cm Durchmesser) hat einen rechtwinklig gebogenen Ansatz, mit Hilfe dessen er so in ein Stativ eingespannt werden kann, daß der Ring in das Wasser eines untergestellten Seewasserbassins horizontal eintaucht. Durch den Ring sind drei, vorn zugespitzte Schrauben radiär so durchgeschraubt, daß sie untereinander Winkel von je 120° bilden. Der Seeigel wird in den Ring gebracht und die Schrauben werden in den Panzer eingebohrt.

Um das innere Nervensystem (den Nervenring und die der Schale von innen dicht anliegenden ganglienzellreichen Radialnerven) auszuschalten, verwandte v. Uexküll Schalenbruchstücke, deren Innenseite mit Sandpapier gut abgerieben wurde. Solche Schalenstücke halten sich längere Zeit in

Seewasser sehr gut; Pedizellarien und Stacheln zeigen noch schöne Reflexe. Für die Bewegungen der Saugfüße ist die Erhaltung des Innenteils des Ambulakralsystems notwendig, da es sonst an dem nötigen Schwellwasser fehlt.

Zur graphischen Darstellung der Stachelbewegung auf Schattenreiz (Centrostephanus logispinus) hat sich v. Uexküll[86]) mit Erfolg der photographischen Schattenschreibung bedient.

B. Ophiuroideen (Schlangensterne).

Von dem stets fünfeckigen Körper gehen fünf bewegliche Arme aus, die bei manchen Arten sich vielfach verästeln. Die Tiere zeigen in hohem Grade Autotomie, so daß das Experimentieren Schwierigkeiten hat. Am geeignetsten scheint nach v. Uexkülls Versuchen Ophyoglypha lacertosa zu sein. Bei guter Reinhaltung des Wassers und häufiger Fütterung hält sich diese das ganze Jahr häufige Form gut.

Für Verdauungs- und Resorptionsversuche sind die Tiere wegen der relativen Kleinheit wohl nicht geeignet. Brauchbare Muskelpräparate lassen sich nicht gewinnen. Physiologisch wichtig sind die Schlangensterne wegen der außerordentlichen Klarheit einer Anzahl von Reflex- und Tonusphänomenen (v. Uexküll[87]). Eine ausgedehnte und erfolgreiche Anwendung zum Studium der Bewegungskoordination fand die kinematographische Aufnahme auf fortlaufendem Film und die Serienaufnahme auf feststehender Platte. Zur Demonstration des Phänomens, daß die Erregung den gedehnteren Muskeln zufließt, dient folgendes Präparat: Einer Ophioglypha wird das ganze Rückenschild durch einen Kreisschnitt entfernt und der Magen durch sanftes Streichen mit einem Pinsel herausgeholt. Es bleiben übrig die Arme und der sie verbindende „Knochenring" und der in letzterem gelegene Nervenring. (Solch Präparat läuft, frißt usw. wie ein normales Tier.) Es werden nun alle Arme bis auf den längsten und kräftigsten abgeschnitten; außerdem wird der Nervenring gegenüber diesem Arm (mitsamt dem Knochenring) durchschnitten. Dieses Präparat wird mit Nadeln auf eine senkrecht stehende Korkplatte so aufgespießt, daß der Mund gegen die Platte sieht und die Armwurzel horizontal steht (Fig. 4). Die Armspitze sinkt dann der Schwere nach schlaff herab, wenn nicht Starre eintritt, durch die das Präparat unbrauchbar wird. Wird jetzt der Ringnerv oberhalb des Armes (R_1) faradisch gereizt, so schlägt der Arm naturgemäß nach oben; reizt man aber auf der anderen Seite des Armes (R_2), so schlägt der Arm ebenfalls nach oben.

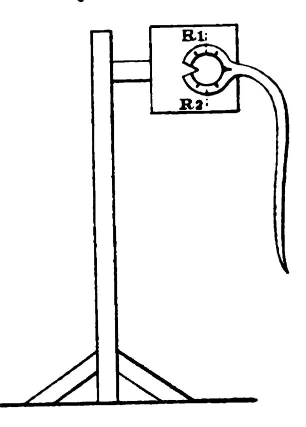


Fig. 4.

C. Holothurien (Seewalzen).

Das bei den übrigen Echinodermen so stark entwickelte Kalkskelett ist bei den Holothurien bis auf mikroskopische Reste zurückgebildet, wodurch

operative Eingriffe sehr erleichtert werden. Physiologische Eigentümlichkeiten heben diesen Vorteil aber wieder auf; sie bestehen in der Hauptsache darin, daß die meisten Arten (besonders die Aspidochiroten) schon bei relativ geringen Reizen ihren Darm ausspeien und hinter dem Gefäßring autotomieren (er kann sich allerdings regenerieren) oder in mehrere Stücke zerfallen (Apoden, Synapten).

Der Körper ist walzenförmig gestreckt. Am einen Ende liegt der Mund, von Tentakeln umgeben, am anderen der After. Sie kriechen in der Richtung dieser Hauptachse, während sich alle andern Echinodermen senkrecht zu derselben fortbewegen. Die mit Ambulakralfüßen (Saugfüßen) ausgestatteten Pedaten (Holothuria, Cucumaria, beide das ganze Jahr häufig) bewegen sich, wenn sie nicht, wie gewöhnlich, stilliegen, hauptsächlich mit diesen; die Apoden (Synapta), welche der Saugfüße entbehren, bewegen sich durch wurmartige, peristaltische Bewegungen. Die Holothurien sind nicht streng radiär gebaut; sie zeigen vielmehr eine mehr oder weniger ausgeprägte bilaterale Symetrie, nicht nur in der Anordnung der inneren Organe, sondern auch in der Existenz einer prädestinierten Unterseite (Kriechfläche oder Sohle), welche meist heller gefärbt ist.

Über die Lage der wichtigsten inneren Organe kann man sich leicht am aufgeschnittenen Tier orientieren; eine weitere Präparation ist kaum nötig.

Resorptionsversuche: Um den Durchtritt gelöster Stoffe durch die Darmwand zu untersuchen, öffnet Cohnheim[21]) Holothuria tubulosa von der Sohle her und zieht den Darm vorsichtig heraus, der am Schlundring und After abreißt. Der Darm wird dann von anhaftenden Organen befreit, entleert, mit der Bürette gefüllt und an beiden Enden abgebunden in Seewasser aufgehängt. Das Seewasser wird mit Sauerstoff durchlüftet und nach 24 resp. 48 Stunden ebenso wie der Rest des Darminhalts untersucht.

Muskelpräparat: Die Holothurien besitzen fünf lange, durch den ganzen Körper von dem um den Ösophagus liegenden Kalkring bis zum Anus sich hinziehende, glatte Muskeln, welche ein sehr günstiges Objekt wären, wenn ein Mittel bekannt wäre, sie tonusfrei zu isolieren. Schon bei der Eröffnung des Tieres geraten sie in Kontraktur, die bei der Präparation noch zunimmt und nicht mehr verschwindet. Biedermann[8]) zog es daher vor, die Tiere nur aufzuschneiden, die unnötigen Organe herauszunehmen, die Muskeln aber in Situ zu lassen. Das Fließ wird mittelst Nadeln in einer Präparierschale ausgespannt und mit der Reizung gewartet, bis die Kontraktur etwas zurückgegangen ist.

Blutbewegung: Ein eigentlicher Kreislauf findet in dem vielverzweigten, zwischen den Darmschlingen ausgespannten Gefäßsystem nicht statt; wohl aber existieren pulsatorische Bewegungen der Gefäße, welche den Inhalt derselben hin und her bewegen. Diese Pulsationen konnten von Enriques[25]) in der Weise aufgeschrieben werden, daß ein mit Seewasser gefülltes, durch ein Quecksilberkügelchen abgeschlossenes Röhrchen in ein Gefäß eingebunden wurde und die Bewegungen der Quecksilberoberfläche (mit dem Mikroskop durch einen engen Spalt auf langsam bewegten Film projiziert) photographiert wurden.

Eine Analyse der Reflexe fehlt.

Vermes (Würmer).

Erst in wenigen der vielen Klassen und Ordnungen der Würmer haben sich für experimentelle Arbeiten geeignete Vertreter finden lassen. Für alle Untersuchungen, bei denen man isolierbarer Organe bedarf (Resorptionsversuche, Versuche an Nerven, Muskeln und Drüsen usw.), kommt der große Unterstamm der parenchymatösen Würmer überhaupt nicht in Betracht, weil eine Leibeshöhle nicht existiert und alle Organe durch Parenchym mehr oder weniger fest miteinander verklebt sind. Die Vertreter vieler Ordnungen bestehen auch nur aus kleinen oder aus parasitisch lebenden Formen. Bei letzteren treten die animalischen Funktionen ganz in den Hintergrund, so daß vorwiegend die manchmal recht interessanten nutritiven Anpassungen einer Bearbeitung wert sind.

Die freilebenden Formen der Plathelminthen (Turbellarien oder Strudelwürmer [brauchbare Versuchstiere, die größeren Planarien und Dendrocoelum lacteum des Süßenwassers und Thysanozoon des Mittelmeeres] und Nemerthinen oder Schnurwürmer [fadenförmige Meeresbewohner, Arten bis zu 1 m Länge]) haben schon mehrfach zu interessanten physiologischen Versuchen gedient, welche sich hauptsächlich auf die Regeneration verlorener Teile und auf die Reaktionen gegenüber einfachen Reizen beziehen. Auch über die Bedeutung des am Vorderende gelegenen Gehirns ist mehrfach gearbeitet worden. Die Technik ist sehr einfach, da man den Tieren nur das Vorderende abzuschneiden braucht. Das Hinterstück — und auch Bruchstücke desselben — zeigen noch eine Menge interessanter Reflexe, (Loeb[55])) welche sich auf die Existenz eines diffusen Nervennetzes beziehen lassen.

Von den Coelhelminthen (Würmer mit Leibeshöhle) kommen die Chaetognathen (Sagitta, häufig) wegen ihrer Kleinheit, die Nemathelminthen (Spulwürmer usw.) wegen ihres Parasitismus, die Enteropneusten (Balanoglossus) wegen ihrer Seltenheit wohl kaum in Betracht. Es bleiben also nur die Anneliden zu besprechen.

Anneliden.

Bei allen Anneliden liegt die Mundöffnung am einen, die Afteröffnung am andern Ende des meist langgestreckten Körpers. Der Darm ist meist grade gestreckt, zeigt häufig seitliche Divertikel und läßt sich außer bei den Hirudineen unschwer isolieren.

Das strickleiterförmige Nervensystem liegt ventral (die Bauchseite ist fast immer an der helleren Färbung zu erkennen) und besteht aus einzelnen wohl abgegrenzten Ganglien, welche untereinander durch Längskommissuren verbunden sind, nach den Seiten kurze Nerven für die Muskulatur und Haut des zugehörigen Segments abgeben und in der Regel die einzigen Reflexzentren des innervierten Bezirks sind. Nur das vorderste Ganglion, Gehirn oder Oberschlundganglien genannt, liegt dorsal und ist mit dem ersten ventralen Ganglion (Unterschlundganglion, gewöhnlich aus mehreren verschmolzenen Ganglien bestehend) durch die den Ösophagus umfassenden Schlundkommissuren verbunden (Operationen siehe unten).

Die Muskulatur liegt der Haut dicht an und bildet mit ihr den Hautmuskelschlauch. Sie besteht in einer äußeren Ringmuskel- und einer mehr

nach innen gelegenen Längsmuskelschicht. Dazu kommt bei den Hirudineen (und einigen Chaetopoden) noch eine transversal (vom Rücken zum Bauch) ziehende Muskulatur. Weder gelingt es die Ringmuskeln von den Längsmuskeln zu trennen, noch die Haut ohne Verletzung der Muskeln abzuziehen. In der Regel lassen die Muskeln eine segmentale Abgrenzung erkennen; auch dort wo diese Grenzen nicht oder nur undeutlich zu sehen sind, lassen sie sich mit physiologischen Methoden leicht nachweisen. (Nach Ausschneiden eines Ganglions zeigt sich eine scharf abgesetzte Lähmung; wird ein Ganglion nach Durchtrennung der Verbindung mit den Nachbarganglien gereizt, so reagiert nur die Muskulatur des zugehörigen Segmentes). Es ist daher von vornherein ausgeschlossen, aus dem Hautmuskelschlauch einheitliche Muskelpräparate von mehr als Segmenteslänge zu erhalten. Bei der geringen Entfernung zwischen innervierendem Ganglion und der Muskulatur sind die motorischen Nerven auch bei großen Arten sehr kurz; meist sind sie auch noch in einem beträchtlichen Teil ihres Verlaufs mit der Muskulatur verwachsen. Es ist daher schwierig sie direkt und isoliert zu reizen. Reizt man aber den freipräparierten Bauchstrang, so hat der Reiz immer mindestens ein Ganglion zu passieren, d. h. wir bekommen keine indirekte Muskelreizung, sondern eine reflektorische. Nur bei den Gephyreen (Sipunculus) finden sich neben der Muskulatur des Hautmuskelschlauchs Muskeln, welche auch ziemlich hochgeschraubten Anforderungen genügen können. Es sind die zuerst von v. Uexküll benutzten, durch eine größere Anzahl von Segmenten sich hinziehenden und fast frei in der Leibeshöhle aufgehängten Retraktormuskeln des Rüssels.

Neben Fragen der Resorption, Verdauung und allgemeinen Muskelphysiologie werden sich die Anneliden vor allem zu Untersuchungen über das Nervensystem eignen, da wir bei diesen Tieren zuerst in der Tierreihe einem Zentralnervensystem im Sinne der Wirbeltierphysiologie begegnen. Die Operations- resp. Präparationstechnik ist im folgenden für die einzelnen typischen Experimentaltiere getrennt behandelt.

A. Chaetopoden.

a) Polychäten.

Die charakteristische Eigentümlichkeit der Polychäten besteht in den paarigen Fußstummeln (Parapodien), welche freibeweglich und mit Haftborsten ausgestattet sind und je ein eignes mit dem zugehörigen Bauchganglion verbundenes Reflexganglion besitzen (Maxwell). Viele Arten haben hochentwikkelte Tentakeln am Vorderende; auch Augen, seltener Statozysten kommen vor.

Material: Von den freischwimmenden oder kriechenden Errantien werden sich Nereis und Aphrodite wegen Größe und Häufigkeit am meisten eignen; von den Sedentarien scheint die im Sande wühlende Arenicola ein günstiges Objekt, während die eigentlichen Röhrenwürmer wegen der starken Rückbildung einzelner Teile weniger in Betracht kommen können. Die genannten Arten sind in Neapel das ganze Jahr häufig.

Leitungsgeschwindigkeit des Bauchmarks: Jenkins und Carlson[46]) schnitten die Tiere von der Rückenseite auf, steckten sie mit Nadeln fest und befreiten das Bauchmark, wenn möglich, ganz vom Hautmuskelschlauch

außer an dem kleinen Stück, welches zum Schreiben diente. Dieses wurde am einen Ende festgesteckt; am andern wurde mit einem Haken ein Faden befestigt und dieser über eine Rolle zum Hebel geführt. Die Reizung des Bauchmarks mit faradischen Strömen geschah einmal dicht am schreibenden Muskelstück, das anderemal weit davon entfernt. (In der gleichen Weise wurden auch Nemertinen, Hirudineen usw. untersucht).

Operationen am Nervensystem: Maxwell[63]) operierte an Nereis. Zur Narkose wurden die Tiere in eine 5 % Lösung von Alkohol (siehe Fürst[40]) in Seewasser gesetzt. Als Operationstisch diente eine mit feuchtem Fließpapier belegte Glasplatte. Die Operationen fanden unter dem Präpariermikroskop statt. Zur Herausnahme eines Ganglions oder der Durchschneidung von Kommissuren zwischen zwei Ganglien wird auf der Bauchseite der Hautmuskelschlauch vorsichtig aufgeschnitten, möglichst ohne das ventrale Hauptblutgefäß zu verletzen; das Ganglion wird dann mit einem feinen Haken von der Unterlage abgehoben, die Kommissur beiderseits durchschnitten und herausgenommen. (Naht ?). Bei gut gelungener Operation zeigen die Segmente hinter der Operationsstelle einen veränderten Tonus; sie sind gegenüber den ziemlich runden Vordersegmenten stark abgeflacht. — Die Entfernung des Unterschlundganglions geschieht in derselben Weise; es liegt im ersten Segment hinter dem Kopf. — Die Exstirpation des Oberschlundganglions geschieht von der Dorsalseite; sie ist schwieriger als die vorhergehenden Operationen. — Die isolierte Durchtrennung einer einzelnen Schlundkommissur ist meines Wissens bisher nicht ausgeführt worden, obwohl die Operation den anatomischen Bedingungen nach technisch ausführbar wäre.

b) Oligochaeten.

Material: Die verschiedenen Arten von Regenwürmern. Ihre Lebensweise ist bekannt. Statt in Erde kann man sie häufig mit Vorteil in feuchtem Fließpapier halten, durch welches sie sich ebenfalls hindurchfressen (Friedländer).

An und für sich sind die Regenwürmer wohl kein besonders günstiges Objekt, aber wegen der Leichtigkeit, mit der sie zu beschaffen sind, erfreuen sie sich schon seit längerer Zeit der Aufmerksamkeit der Physiologen. Die Unterseite wird leicht an der helleren Färbung erkannt; auch sieht man gewöhnlich das große ventrale Blutgefäß durch den Hautmuskelschlauch hindurch schimmern. Das Vorderende wird am leichtesten (außer an der Bewegungsrichtung) an der Lage des Clitellums (verdickter und anders gefärbter Ring, welcher das 33—37. Segment umfaßt) erkannt.

Narkose: Zur Narkose wurde zuerst von Fürst[40]) eine 5—7 % Lösung von Alkohol angewandt, in welcher die Tiere nach 5—6 Stunden vollkommen gelähmt sind. Nach Friedländer[32]) sind sie schon nach $^1/_4$—$^1/_2$ Stunden soweit bewegungslos, daß man operieren kann.

Das Fließpräparat: In der Narkose wird das Tier vom Rücken her in der Medianlinie eröffnet, mit Stecknadeln ausgebreitet auf einer Korkplatte fixiert und der Darm etc. ausgeräumt, bis das Präparat nur noch aus dem Hautmuskelschlauch und dem Nervensystem besteht. Das Präparat ist während der Dauer der Narkose brauchbar zur Demonstration des polaren

Erregungsgesetzes (Fürst), nach dem Vorübergehen der Narkose zu verschiedenen Reflexexperimenten (Biedermann[9]). Um zu zeigen, daß die Reizübertragung von Segment zu Segment nur durch das Nervensystem geht, schneidet Biedermann den Hautmuskelschlauch im Bereich mehrerer Segmente heraus, so daß die Brücke zwischen Vorder- und Hintertier nur noch durch die Ganglienkette gebildet wird.

Muskelpräparat: Straub[79]) verfährt, um ein von zentralem Nervensystem freies Präparat glatter Muskulatur zu haben, folgendermaßen: Der nicht narkotisierte Wurm wird auf der Bauchseite aufgeschnitten und mit Hilfe feiner Nadeln und Pinzetten des Bauchstrangs beraubt. Zum Schreiben werden die nächsten hinter dem Clitellum gelegenen dreißig Segmente benutzt. Das Präparat wird vorne und hinten mit Metallklammern gefaßt, die zur Aufhängung, zur Befestigung am Hebel und zur Zuleitung des Stromes dienen. Dadurch, daß der elektrische Strom bei reiner Querdurchströmung nicht wirksam ist, wird es belanglos, daß neben der Längsmuskulatur auch noch die Ringmuskulatur im Präparat vorhanden ist.

Herausnahme einzelner Ganglien: Das mit Alkohol narkotisierte Tier wird mit der Bauchseite nach oben auf feuchtes Fließpapier gelegt und der Hautmuskelschlauch vorsichtig unterhalb des Clitellums gespalten. Das an der roten Farbe erkenntliche Blutgefäß darf nicht verletzt werden, noch weniger der Darm. Neben dem geschlängelten Gefäß erkennt man beim Auseinanderziehen der Wundränder den weißlichen Bauchstrang. Zwei dünne Sonden werden dann unter das Bauchmark geschoben und langsam auseinandergezogen, bis sich die gewünschte Zahl von Ganglien von der Unterlage abgelöst hat. Diese werden dann ausgeschnitten. — In der gleichen Weise wird bei der Exstirpation des Unterschlundganglions verfahren: das Gehirn wird von der Dorsalseite aus aufgesucht. Die Wunden werden genäht (Friedländer[32]).

B. Hirudineen (Blutegel).

Am leichtesten zu bekommen ist der offizinelle Blutegel (Hirudo medicinalis); ebenso brauchbar sind aber der Pferdeegel (Haemopis vorax) und Aulostomum gulo.

Die Bauchseite ist leicht zu erkennen, da sie hell erscheint und außerdem beim Kriechen stets der Unterlage zugewandt wird. Der kleine Saugnapf ist der vordere (Mundsaugnapf). Die das gerinnungshemmende Sekret liefernden Drüsen reichen nach Apáthy[1]) viel weiter nach hinten, als gewöhnlich angenommen wird und fehlen im vordersten Kopfteil. (Um das Material ganz auszunützen, soll man das vordere Sechstel des gestreckten Tieres extrahieren).

Narkose kann mit 5—7 % Alkohol erzielt werden (Fürst). v. Uexküll[90]) legt die Tiere in 4 % Alkohol, der auf 32—34° gehalten wird, bis sie vollständig erschlafft sind. Maxwell empfiehlt 10 % Alkohol. Mir scheint für viele Zwecke ein mehrstündiger Aufenthalt in 4—5 % Alkohol zu genügen. Häufig kann aber selbst bei subtilen Operationen die Narkose ganz entbehrt werden. Wenn man nämlich die Tiere mit dem Rücken auf eine Korkplatte legt und sie mit je einer Stecknadel am vorderen und hinteren

Körperende (unter Vermeidung der Ganglienkettengegend, also neben der Mittellinie) in mäßig gestrecktem Zustande feststeckt, so verhalten sie sich nach kurzer Zeit vollkommen ruhig.

Zur Herstellung des Fließpräparats verfährt man wie beim Regenwurm. Da die Körperhöhle stark mit Parenchym durchwuchert ist, so ist die Freilegung des Bauchstrangs nicht ohne Zerrung (und damit verbundene Reizung) möglich. Fürst[40]) benutzte derartige (narkotisierte) Präparate zur Untersuchung der polaren Erregung der Muskulatur.

Durchschneidung des Bauchstrangs: v. Uexküll[90]) schneidet zu diesem Zweck den Kopf resp. das Hinterende ab (narkotisierten Tieren) und stülpt das Tier über einem Stäbchen wie einen Handschuhfinger um, wäscht den nach außen zu liegen kommenden Darm gut ab und durchschneidet den nun durchschimmernden Bauchstrang oder schneidet mehrere Ganglien heraus. Nach meinen eigenen Erfahrungen scheint mir der natürliche, auch von Maxwell angewandte Weg zweckmäßiger, weil er nicht den Verlust eines Körperendes erfordert: In der Mittellinie der Bauchseite wird der Hautmuskelschlauch vorsichtig und unvollständig gespalten. Mit feiner Nadel und Pinzette wird dann der Rest der Längsmuskulatur auseinander gezupft, bis der große, schwarzpigmentierte, ventrale Blutsinus, der das Bauchmark umschließt, deutlich vor einem liegt. Eine Verletzung des darunterliegenden, durch seinen Blutinhalt meist ebenfalls dunkel gefärbten Darmes läßt sich bei einiger Vorsicht leicht vermeiden. Durch sanfte Kompression wird der Blutsinus blutleer gemacht und mit scharfer Nadel der Länge nach gespalten. Die Spuren von Blut, welche austreten, werden mit physiologischer Kochsalzlösung abgewaschen und nun liegt der weißliche Bauchstrang frei. Je nach Bedarf kann nun ein Ganglion (oder mehrere) herausgenommen werden, oder man kann die Kommissuren zwischen zwei Ganglien durchschneiden, oder die von einem oder mehreren Ganglien entspringenden peripheren Nerven durchschneiden (letzteres ist auch ohne Eröffnung des Sinus möglich). Hat die Kompression des Sinus längere Zeit angedauert, so tritt nach ihrer Aufhebung gewöhnlich keine Blutung ein. Die Wunde wird durch Naht geschlossen und kann innerhalb einiger Wochen so fest vernarben, daß die Fäden entfernt werden können. Übrigens gelingt es auch, wenn man in der angegebenen Weise freilegt, beide Kommissuren zwischen zwei Ganglien mit Nadeln auseinander zu ziehen, so daß die Durchschneidung einer einzelnen ermöglicht wird; jedoch erfordert diese Operation viel Geduld. Nach vollkommener Durchtrennung der Ganglienkette ist das Hintertier stets stark abgeflacht.

Die Exstirpation des Unterschlundganglions und auch die des Oberschlundganglions ist schwierig ohne Nebenverletzungen auszuführen.

C. Gephyreen.

Von den nicht sehr zahlreichen Vertretern der Gephyreen ist bis jetzt nur Sipunculus nudus zu physiologischen Versuchen benutzt worden, eignet sich aber zu solchen in hervorragender Weise. Das Tier ist im Mittelmeer recht häufig und in Neapel meist in größeren Mengen zu haben. Geeignete Exemplare von 7—12 cm Länge sind nicht selten. Der Sipunculus lebt fast ausschließlich im Sande. Es ist deshalb nötig, in das Aufent-

haltsbassin eine mehrere Zentimeter hohe Sandschicht hinein zu geben, damit er seinem Bohrgeschäft nachgehen kann und Nahrung findet (der Sand wird gefressen). Im freien Wasser kann S. sich durch Schwimmbewegungen fortbewegen, sucht aber immer bald den Boden wieder auf.

Anatomie: Am ausgestreckten Wurm erkennt man das Vorderende sofort an dem den Mund umgebenden Tentakelkranz. Dieser sitzt dem Rüssel auf, welcher von dem zylindrischen Körper ziemlich deutlich abgesetzt ist. Der Körper zeigt häufig etwas hinter der Mitte eine flache Einschnürung, den „Griff.“ Wenn man die Tiere aus dem Sande nimmt, zeigen sie aber in der Regel nicht diese Form, sondern sind zu einer kurzen Wurst zusammengezogen. Dabei ist der Rüssel wie ein umgestülpter Handschuhfinger nach innen umgeschlagen; das Vorderende ist infolgedessen durch eine trichterförmige Grube charakterisiert. Die Lage der Bauchseite wird einem von dem Tier selber angegeben, wenn man es sich selbst überläßt: Die Seite, auf welche es sich legt, ist die Bauchseite. Auch durch Aufsuchung des Anus kann man sich leicht über die Lage von Bauch- und Rückenseite orientieren. Der Anus liegt dicht hinter der Grenze zwischen Rüssel und Körper (beim kontrahierten Tier also nahe dem Vorderende) und zwar genau dorsal auf einer kleinen Papille. (Rechts und links vor dem Anus finden sich die sehr kleinen Öffnungen der Segmentalorgane).

Man öffnet die Tiere durch einen langen Schnitt auf der rechten Seite des Anus. Dabei entleert sich das schwach rosa gefärbte Blut (anfangs in starkem Strahl). Die Wundränder werden auseinander gezogen und mit Stecknadeln auf dem Boden der Präparierschale festgesteckt. Die Lage der Organe ist jetzt ohne weitere Präparation zu erkennen. Von dem umgestülpten Rüssel zieht der meist mit Sand gefüllte Darm nach hinten und kehrt nach vielen spiraligen Windungen nach vorn zurück, um durch den dorsal gelegenen After nach außen zu münden. Vom vordersten Teil des Rüssels (bei eingezogenem Rüssel am weitesten nach hinten gelegen) ziehen vier ca. 3—5 cm lange Muskeln fast frei durch die Leibeshöhle nach hinten, um sich seitlich an der Körperwand zu inserieren. Es sind die Retraktoren des Rüssels, welche ihn bei der Kontraktion nach innen umstülpen. Nur bei geschlossenem Körper kann der Rüssel vorgestreckt werden; dies geschieht unter Kontraktion der Körpermuskulatur durch den hydrostatischen Druck.

Der rosa gefärbte Bauchstrang durchzieht auf der ventralen — dem After gegenüberliegenden — Seite den Körper. Er teilt sich vorne, und umgreift den Vorderdarm mit den zwei Schlundkommissuren, die sich auf der Dorsalseite des Mundes vereinigen und in das Gehirn, zwei rötliche Kügelchen, übergehen. Am Bauchstrang sind zwei Teile unterscheidbar, ein vorderer, von einem dünnen Muskel begleiteter, aber sonst freier Teil (freier Bauchstrang, v. Uexküll) und ein hinterer, auf dem Hautmuskelschlauch festsitzender Teil (verwachsener Bauchstrang). — Innervierung: Die Tentakeln erhalten ihre Nerven vom Gehirn. Die Muskeln des Rüssels sind mit dem freien Bauchstrang durch lange, freiflottierende, von je einem dünnen Muskel begleitete Nerven verbunden. Der Hautmuskelschlauch des Körpers wird vom verwachsenen Bauchstrang durch kurze, schwer zu isolierende Nerven versorgt. Die Nerven der Retraktoren entspringen von den Schlundkommissuren.

Im Vorderteil des Körpers sind noch zu erwähnen die grünlichen bis bräunlichen Segmentalorgane und die dem Darm aufliegende Polische Blase (Abbildungen vom Situs bei Metalnikoff, Zeitschrift f. wiss. Zool. Bd. 68.)

Präparat zum Studium des Bohraktes (v. Uexküll[91])): Ein lebenskräftiges Exemplar wird unter Wasser in der Dorsallinie von hinten nach vorn aufgeschnitten, der Darm wird herausgerissen und vorn abgeschnitten. Das Präparat wird dann in der Präparierschale mit fünf Nadeln festgesteckt, von denen eine in der Mittellinie durch den basalen Rand des Rüssels, je eine rechts und links durch die Retraktorenbasis und das Hinterende gesteckt wird. An diesem Präparat kann der ganze Ablauf des Bohraktes studiert werden; nur wird der Rüssel aus Mangel an Innendruck nicht mehr vorgestreckt. — Zur Untersuchung des Innendrucks kann eine Glaskanüle in das Hinterende des normalen oder des Bauchstrangs beraubten (siehe unten) Tieres eingebunden werden.

Das Fließpräparat (v. Uexküll[91]): Der Wurm wird in der Dorsallinie aufgeschnitten, der Darm entfernt und das Blut abgespült. Unterhalb des Ansatzes der Retraktoren wird dann der Körper durchschnitten und entweder in einer Präparierschale mit Nadeln ausgebreitet, oder senkrecht an einem Korkplättchen mit Nadeln aufgehängt. Um Reizung durch die Nadeln auszuschalten, empfiehlt es sich, den Bauchstrang in den obersten Segmenten abzutrennen. Das Präparat ist zu vielen physiologischen und pharmakologischen Versuchen geeignet und hält sich, gut mit Seewasser befeuchtet, stundenlang, in Seewasser aufgehoben tagelang. — Will man ohne Bauchstrang arbeiten, so braucht man denselben nur an einer Stelle zu fassen und mit einem Ruck anzuziehen. Er reißt dann auf der ganzen Länge heraus. — Mit Hilfe einer gebogenen Nadel kann man auch am unaufgeschnittenen Tier den ganzen verwachsenen Bauchstrang von der Bauchseite aus herausreißen, wodurch ein für manche Zwecke sehr geeignetes Präparat entsteht.

Retraktorenpräparat (v. Uexküll[92])): Nach Eröffnung von der Rückenseite und Herausnahme des Darmes muß man warten, bis die anfangs ad maximum kontrahierten Retraktoren wieder ganz erschlafft sind; schneidet man sie in kontrahiertem Zustande heraus, so bleiben sie in der Regel dauernd zusammengezogen. Es können Präparate mit und ohne Nervensystem hergestellt werden; im ersteren Fall läßt man das Gehirn und das Bauchmark am Präparat und hat so die Möglichkeit, von beiden aus zu reizen. (Die zentrale Station [Repräsentanten] der Retraktoren liegt im Bauchstrang; die Retraktoren sind aber leichter vom Gehirn aus zu reizen, wenn die Verbindung mit demselben erhalten ist. Das Gehirn ist sehr leicht und auch mechanisch zu erregen, der Bauchstrang schwerer und nur elektrisch und chemisch.) Für manche Zwecke, z. B. gleichzeitiges Schreiben isotonischer und isometrischer Kurven ist es zweckmäßig, zwei der Retraktormuskeln zusammen zu präparieren, um sie gemeinsam vom Hirn resp. Bauchmark erregen zu können. — Die Präparation geschieht folgendermaßen: Die Ansatzstelle des Muskels am Hautmuskelschlauch wird umschnitten, das am Muskel verbleibende Hautmuskelstück mit der Pinzette gefaßt und der Muskel unter Durchtrennung der bindegewebigen Verbindungen zwischen Muskel und Darm bis zur vorderen Ansatzstelle freipräpariert. Darauf werden die

überflüssigen Retraktoren dicht am Rüssel durchschnitten und der Rüssel selber wird einen halben Zentimeter von der Insertionsstelle der Retraktoren durchtrennt. Das Rüsselstück dient später zur Aufhängung. Es bleibt nun nur noch übrig die Seitennerven des freien Bauchstrangs und diesen selber zu durchtrennen.

Direkte Erregung einer begrenzten Muskelstelle führt nicht zur Kontraktion des ganzen Muskels, sondern nur zur Kontraktion einer begrenzten Stelle, welche sich deutlich durch ihr weißes Aussehen von den durchsichtigen, nicht kontrahierte Partien abhebt! (v. Uexküll).

Zu Versuchen am peripheren Nerven eignen sich die ziemlich langen Nerven, welche vom freien Bauchstrang zum Rüssel führen (Magnus[62])). —

Mollusken.

Im Tierstamm der Mollusken finden sich Tiere von sehr hoher und relativ sehr niederer Organisation vereinigt. Organe, die in manchen Klassen und Ordnungen fehlen oder kaum angedeutet sind, finden sich in anderen hoch entwickelt. Manche Formen schließen sich in der nervösen Organisation nahe an die Coelenteraten und niederen Würmer an; andere zeigen hier Verhältnisse, die denen der höheren Würmer und der Wirbeltiere näher kommen. Die Differenzen in fast jeder Beziehung sind so groß, daß man kein Tier als physiologisches Prototyp des ganzen Stammes aufstellen kann, wie das zur Not bei den Arthropoden und Wirbeltieren möglich ist.

Für die verschiedenartigsten physiologischen Bedürfnisse können bei dieser Sachlage Experimentaltiere unter den Mollusken gefunden werden; aber man kann nicht alle Bedürfnisse an einem Tier befriedigen. Nur mit einem reinen Muskel- und Nervmuskelpräparat sieht es bei den Mollusken schlecht aus. Selbst bei den Cephalopoden ist es zweifelhaft, ob nicht der Verlauf der peripheren Nerven noch an der Peripherie durch Ganglienzellen unterbrochen wird. Bei den Cephalophoren ist sicher ein zentrenfreies Muskelpräparat nicht zu erhalten; auch bei den Lamellibranchiaten ist die Existenz eines solchen recht zweifelhaft. Da die Mollusken auf Curare nicht reagieren, so ist es auch auf diesem Wege nicht möglich, die Einmischung nervöser Einflüsse zu verhindern.

Störend sind die bei vielen Mollusken vorhandenen festen Hüllen (Kalkschalen, Kalkgehäuse und manchmal auch Chitinhüllen). Bei den Lamellibranchiaten muß man sich mit dieser Tatsache abfinden, wenn man nicht gerade an dem zwar schalenlosen, aber in anderen Beziehungen wenig geeigneten Schiffsbohrwurm (Teredo fatalis) arbeiten will. Bei den Cephalophoren (Gastropoden) finden sich aber in fast allen Ordnungen nackte Formen. Natürlich wird man diese in erster Linie zu Versuchen heranziehen und die gehäusetragenden nur dann benutzen, wenn es das Problem erfordert.

A. Lamellibranchiaten (Acephalen, Muscheln*).

Am meisten bisher benutzt sind die Süßwassermuscheln Anodonta und Unio, welche in verschiedenen Spezies vorkommen. Von den zahlreichen

*) Anmerkung: Die erste Klasse der Mollusken, die Amphineuren, dürfte für physiologische Zwecke kaum in Betracht kommen.



und z. T. gewiß sehr brauchbaren Meeresformen hat bisher nur die Bohrmuschel (Pholas dactylus) eingehendere Beachtung gefunden.

Anodonta: Die Präparation einzelner Organe bereitet wegen der vielseitigen Verwachsungen und Durchwachsungen einige Schwierigkeiten. Das Hinterende ist an den Öffnungen des After- und Branchialsipho leicht zu erkennen. Man legt die Tiere am besten auf die linke Schale und bricht die rechte Schale mit einer Knochenzange stückweise fort. Das dorsal am elastischen Schalenband gelegene Herz sieht man nach Fortnahme des Mantels durchschimmern und pulsieren; ventralwärts schimmert das dunkel pigmentierte Bojanussche Organ durch.

Nervenpräparat: Als solches benutzt Biedermann[6]) die Kommissuren zwischen Cerebral- und Visceralganglion. Nach Entfernung einer Schalenhälfte, des gleichseitigen Mantels und Kiemenblattes und des Herzens wird der Rest des Tieres nach Durchschneidung beider Schließmuskeln an ihrer unteren Insertion aus der unteren Schale entfernt und mit Nadeln auf einer Korkplatte aufgespannt. Im Bojanusschen Organ, durch das die Kommissuren hindurchlaufen, werden die beiden weißlichen Fäden aufgesucht und nach vorne bis zum Cerebralganglion, nach hinten bis zum Visceralganglion freipräpariert und abgeschnitten. Reste des Bojanusschen Organs sind bei der Untersuchung der elektrischen Eigenschaften des Präparates nach Biedermanns Angaben nicht störend. — Die Präparate halten sich lange Zeit, doch darf man sie nicht mit physiologischer Kochsalzlösung*) befeuchten, sondern muß statt dessen Blutflüssigkeit des Tieres benutzen, die beim Präparieren in hinreichender Menge gewonnen wird.

Nerv-Ganglion-Muskelpräparat: Zur Anfertigung dieses, zuerst von Pawlow[69]) benutzten Präparats eignet sich der hintere Schließmuskel besser als der vordere. Die Muschel wird auf die linke Schale gelegt und der ganze vordere Teil der rechten Schale mit der Knochenzange abgetragen. Darauf werden Mantel, Kieme und Herz exstirpiert, die Cerebro-Visceralkommissuren im Bojanusschen Organ aufgesucht, nach vorn bis zum Cerebralganglion, nach hinten bis zum Visceralganglion freipräpariert und an ersterem durchschnitten. Nachdem der „Nerv“ nach hinten geklappt ist, können nun alle überflüssigen Organe, vor allem Fuß, Darm, vorderer Schließmuskel und Leber ausgeräumt werden, so daß das Präparat nur noch aus der unteren und dem Rest der oberen Schale, dem Schalenband, dem hinteren Schließmuskel, dem Visceralganglion und den Kommissuren besteht. Da durch die Operation in der Regel Dauerkontraktion des Muskels hervorgerufen wird, so empfielt Pawlow vor der Operation 4—6 ccm 2% Morphiumchloridlösung in den Fuß zu injizieren, wonach in 10—20 Minuten Erschlaffung eintritt.

Die linke intakte Schale wird mit rechtwinklig gebogenen, über den Schalenrand greifenden Haken an einem Brett befestigt, der Schalenrand der rechten Schale wird durchbohrt, ein Faden durch das Loch gezogen und durch diesen die Verbindung mit dem kurzen Arm eines doppelarmigen Hebels hergestellt (ähnlich wie in Fig. 5).

---

*) Siehe oben S. 72.

Auch vom intakten Tier lassen sich bei der gleichen Fesselung und Kraftübertragung (das Tier befindet sich dauernd unter Wasser) interessante Kurven schreiben, welche über vielerlei Auskunft geben (Fig. 5). Wenn man die Muschel ein großes, am Hebel hängendes Gewicht (entsprechend dem einfachen bis doppelten Körpergewicht) tragen und auf sehr langsam bewegter Trommel durch Wochen hindurch schreiben läßt, so überzeugt man sich leicht, wie anders geartet die Arbeitsverhältnisse dieser glatten Muskeln sind. Wochenlang wird das große Gewicht von den Schließmuskeln bei wechselndem Kontraktionszustand getragen, aber niemals (außer beim Tode oder in der Äthernarkose) erschlaffen sie vollkommen.

Herzkurven: Um die Bewegungen des Herzens zu registrieren, stechen Willem und Minne[97]) eine starke Nadelkanüle (einer Pravazspritze) hinter dem Schalenbande sehr großer Exemplare von Anodonta cellensis schräg bis ins Herz hinein. Das Ansatzstück der Kanüle wird durch einen Schlauch mit einer sehr empfindlichen Mareyschen Trommel verbunden. Die Autoren erhielten so recht schöne Kurven von intakten Tieren. Die richtige Einführung der Kanüle scheint aber nicht ganz leicht zu sein.

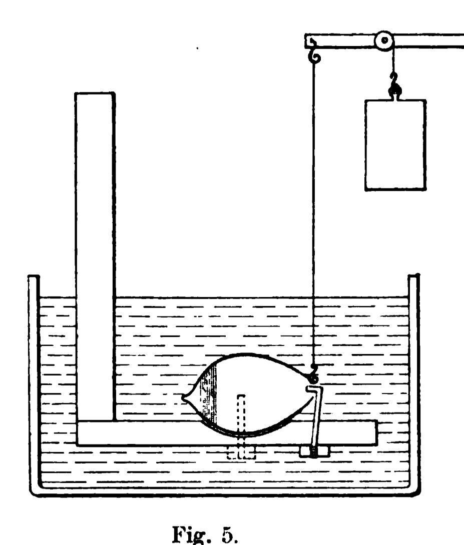


Fig. 5.
Teichmuschel (intakt) unter Wasser montiert zum Aufschreiben der Schalenbewegungen bei grosser Belastung. (Die Muschel ist im Querschnitt gedacht; von den inneren Organen ist nur ein Schliessmuskel gezeichnet).

Pholas dactylus: Bei seinen ausgedehnten Versuchen über die Reaktionen von Pholas benutzte Dubois[23]) vorwiegend die langen Siphonen als schreibenden Indicator. An dem Sipho der senkrecht in einem Gefäß aufgestellten Muschel wurde mittels eines Hakens ein Faden angebracht, dessen anderes Ende an dem Hebel einer Mareyschen Trommel befestigt wurde. Diese war mit einer zweiten (schreibenden) Trommel durch einen Gummischlauch verbunden. Wegen der Technik der Anbringung chemischer und photischer Reize muß auf das Original verwiesen werden.

— Der sehr muskulöse, bei wenigen festsitzenden Arten zurückgebildete Fuß wird vom Pedalganglion innerviert und dient den meisten Muscheln zum Kriechen im Sande. Wie dies zustande kommt, ist nicht genügend aufgeklärt. Bei einigen Arten (Cardium) ist der Fuß in die Länge gezogen und knieförmig geknickt. Er dient hier zum Springen (nicht analysiert). Die Pectenarten zeichnen sich durch den Besitz einer großen Zahl am Mantelrande verteilter, recht hoch entwickelter Augen und durch die Fähigkeit zu schwimmen aus, wobei die Schalen durch rhythmische Tätigkeit der Schließmuskeln in schnellem Tempo geöffnet und geschlossen werden (auch hier fehlen genauere Untersuchungen).

B. Cephalophoren (Gastropoden, Schnecken).

Opistobranchier*).

Wegen der Häufigkeit, Größe und Lebenszähigkeit haben sich bisher aus dieser Ordnung die Aplysien am besten zu Versuchen geeignet (Unterordnung der Tectibranchien). Von den drei in Neapel vorkommenden Arten ist A. punctata die kleinste, aber im Winter und Frühjahr am häufigsten. A. depilans und limacina sind am häufigsten im Sommer. Die morphologischen Unterschiede sind nicht groß, die physiologischen, soweit bis jetzt bekannt, unwesentlich. (Nur in bezug auf den Tonus der Muskulatur gibt Botazzi an, daß er bei depilans größer gefunden wird als bei limacina, was ich im allgemeinen bestätigen kann).

Die äußere Körperform ist je nach dem Kontraktionszustand sehr verschieden. Bei vollkommener Erschlaffung, welche im Bassin häufig zur Beobachtung kommt und durch leises Schlänkern des Tieres im Wasser (ohne das Tier zu drücken) oder durch Injektion von Pelletierin künstlich hervorgerufen werden kann, ist der Körper langgestreckt und läßt einen Kopf, Hals, Rumpf und Schwanz erkennen. Der Kopf trägt vorn ein Paar große, weiter hinten ein Paar kleine Tentakeln. An den Seiten des Rumpfes, mehr dorsal als ventral, bemerkt man die großen Parapodien, welche wie Flügel bewegt das Schwimmen ermöglichen. Zwischen ihnen liegt dorsal der Mantel mit nach hinten gerichtetem Atemsipho, im Mantel der Schalenrest und unter ihm die Kieme. (Der Mantelraum ist rechts offen). Die Ventralseite des Tieres ist stets nur schwach pigmentiert oder ganz hell und dient als Kriechsohle.

Innere Anatomie*): Um eine Übersicht zu bekommen, ist es zweckmäßig ein Exemplar vom Rücken her, indem man die Kieme rechts umgeht, ein anderes von der Bauchseite (Medianschnitt) zu öffnen, nachdem man sie vorher mit Pelletierin injiziert hat (siehe unten). Im Kopf liegt die muskulöse, rötliche Bucca, an die sich die verschiedenen Teile des Magens und der Darm anschließen (siehe auch Botazzi[12]), letzterer zum größten Teil mit der „Leber" fest verwachsen. Hinter der Bucca wird der Darmtraktus vom Nervenring umschlossen. Er besteht aus orangefarbenen Ganglien und grauweißen Kommissuren; dorsal das Cerebralganglion, ventral (paarig) die kaum trennbaren Pleural- und Pedalganglien. Von letzteren ziehen zwei Kommissuren nach hinten zu den Viszeralganglien. Außerdem treten von ihnen eine Menge längerer und kürzerer Nerven zur Muskulatur des Fußes und der Flügel (es sind dies aber keine reinen Nerven; sie enthalten besonders nach der Peripherie zu viele Ganglienzellen). Vom Gehirn werden die Tentakeln, die Bucca, die vor den hinteren Tentakeln gelegenen kleinen Augen und die auf den Pedalganglien liegenden sehr kleinen Statozysten mit Nerven versorgt. Kiemen, Kiemendeckel, Herz und Darm erhalten Nerven von den Visceralganglien, welche, wie die Nerven der Bucca, z. T. neben einzelnen

*) Anmerkung: Vergleichende Anatomie der Opistobranchier bei Guiart[41]).

**) An der Hand von Abbildungen und für physiol. Zwecke genauer dargestellt bei Straub[82]). Die Figur 1 vom uneröffneten Tier gibt wegen der starken Kontraktur eine falsche Vorstellung.

eingestreuten Ganglienzellen, wie sie bei allen Nerven vorkommen, wohl abgegrenzte makroskopisch sichtbare Ganglien tragen.

Das durch seine Pulsationen sich leicht verratende Herz liegt unter und vor der Kieme, so daß es bei der Eröffnung von oben gleich sichtbar wird. Da es hierbei aber leicht verletzt wird, so empfiehlt sich zu seiner Freilegung mehr die von Straub angewandte Eröffnung des Leibes von unten. Es ist dann vom Darmtraktus und den Geschlechtsorganen verdeckt, welche fortgeräumt werden müssen. Es besteht aus Vorhof und Kammer und ist von einem Beutel umgeben. Die dünnwandige auf der Dorsalseite längs der Pedovisceralkommissuren hinziehende Aorta ist leicht zu finden.

Lähmung: Da sich die Tiere bei jeder heftigeren Berührung stark kontrahieren, so sind Operationen am ungelähmten Tier nur schwer auszuführen. Das Mittel, welches sich bisher am brauchbarsten erwiesen hat, ist das zuerst von Schoenlein[76]) für diesen Zweck benutzte Pelletierin. Ich benutze das Pelletierinsulphat von Merck in $^1/_2$ % (bei großen Tieren 1 %) Lösung. Wenn man keine Verluste haben will, so muß das Gift gut dosiert werden, wozu wohl stets einige Probeversuche nötig sind, da die Wirksamkeit nicht bei allen Präparaten ganz gleich ist. Vor der Injektion wird das Tier gewogen und danach die Giftmenge berechnet. Ich rechne in der Regel auf 100 gr. Tier 0,3—0,35 ccm einer $^1/_2$ % Lösung. Die Lösung wird mit einer Pravazspritze vor dem vorderen Flügelrand von oben her in die Körperhöhle injiziert und das Tier darauf kurz massiert. Nach der Injektion lassen die Tiere gewöhnlich reichliche Mengen ihres bei Aplysia limacina blauen bis roten, bei A. depilans weißen Hautsekrets und erschlaffen in wenigen Sekunden vollkommen. Bei stärkerem Kneifen der Haut soll aber noch eine deutliche lokale Zusammenziehung eintreten. Ist das Gift richtig dosiert, so kehrt der normale Tonus und das Reaktionsvermögen nach $^1/_2$ bis 3 Stunden wieder. Dauert die Lähmung länger, so tritt häufig der Tod ein; die Giftmenge war also zu groß. — Bei Versuchen am Herzen, an ausgeschnittenen Nerven usw. wird man natürlich die vorherige Vergiftung nach Möglichkeit vermeiden. Bei komplizierteren Operationen am Nervensystem aber, nach denen die Tiere tagelang beobachtet werden können, ist das Pelletierin bequem und nahezu unentbehrlich und kann nach meinen Erfahrungen nur unvollkommen durch die von Jordan[47]) empfohlene Kokaininjektion ersetzt werden.

Nervenpräparate: Zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften benutzte Boruttau sowohl die Pedovisceralkomissuren, welche 10—15 cm lang, aber recht dünn sind, als auch die langen Flügelnerven. Die Ausschläge sind recht klein.

Nerv-Nervennetz-Muskelpräparat (Bethe[5]) p. 113 u. f.): Da die Muskeln nur erschlaffen können, wenn ihnen Körperflüssigkeit unter einem gewissen Druck zu Gebote steht (Jordan), so ist es ausgeschlossen, die Muskulatur ganz frei zu legen. Vor allem ist es unmöglich die Haut abzukratzen. Die Muskeln geraten durch die damit verbundene Reizung und den Flüssigkeitsverlust in maximale nie zurückgehende Verkürzung. Man bindet mit einem dicken Bindfaden einen Flügel ab, schneidet das Tier vom Rücken aus auf, legt die Flügelnerven frei, durchschneidet sie am Pedalganglion und schneidet den Flügel unterhalb der Ligatur ab. Auf Reiz der Nerven können sowohl Kontraktionen wie Erschlaffungen eintreten. — Für manche

Versuche ist es auch zweckmäßig, beide Flügel abzubinden, Zentralnervensystem und Eingeweide auszuräumen und die Körpermuskulatur nebst Haut zwischen den Flügeln zu belassen. Bei Reiz eines Flügelnerven dehnt sich der Reizeffekt mit zunehmender Stärke des Reizes auf immer größere Gebiete und schließlich auf den anderen Flügel aus.

Herzpräparat (Schoenlein, Straub): Das Tier wird von der Sohle eröffnet, wobei sich reichlich Blut ergießt, das möglichst frei von Hautsekret gesammelt wird. Nachdem der Hautmuskelschlauch ausgebreitet und mit Nadeln in der Präparierschale festgesteckt ist, wird der Darmtraktus unter Schonung der großen Arterien herausgenommen. Nach Eröffnung des Herzbeutels wird der Ventrikel gegen den Vorhof abgebunden, am andern Ende wird eine Glaskanüle eingebunden und mit Blut gefüllt. Die Kanüle dient zur Befestigung, außerdem kann der Innendruck durch verschiedene Neigung reguliert werden (ohne Wandspannung pulsiert das Herz nicht [Schoenlein]). Vom abgebundenen Herzende kann mittels eines Fadens zum Hebel übertragen werden, es können aber auch Druckkurven dadurch aufgezeichnet werden, daß man die Kanüle durch einen Schlauch mit einem Manometer verbindet (Straub[80, 81, 82]). Vom Visceralganglion aus (resp. seinem Ramus cardiacus) kann der Herzschlag beschleunigt werden (Schoenlein) oder bei stillstehendem (leeren) Herzen eine Reihe von Pulsen angeregt werden (Carlson). — Carlson[15]) befestigt beim aufgeschnittenen Tier einen Glashaken am Ventrikel und überträgt mit einem Seidenfaden auf einen sehr leichten Hebel.

Buccapräparat: Der Kropf, die Bucca, führt rhythmische Bewegungen aus. Um dieselben aufzuschreiben, bindet v. Brücke[14]) in den ausgeschnittenen Kropf vom Ösophagus her eine Kanüle ein, entfernt die Kauzähne, welche im ersten Kaumagen auf der Innenseite angebracht sind und legt am Übergang zwischen Bucca und Kaumagen eine Ligatur an. Die Kanüle wird mit Seewasser gefüllt (sonst kommen keine regelmäßigen Bewegungen zustande) und an eine Mareysche Trommel angeschlossen. (Ein reines Muskelpräparat hat man hier aber nicht vor sich; die Bucca enthält außer makroskopisch sichtbaren Ganglien massenhaft zerstreute Ganglienzellen wie der ganze übrige Darmtraktus.)

Operationen am Zentralnervensystem (Bethe): Das mit Pelletierin gelähmte Tier wird in eine flache mit Seewasser gefüllte Schale gelegt. Etwa 1 cm vor den hinteren Tentakeln und 2 cm hinter denselben wird rechts und links von der dorsalen Mittellinie je ein Faden mit krummer Nadel durch die Haut gezogen. Über die Schale werden zwei Glasstäbe parallel zur Längsachse des Tieres gelegt, mit Modellierwachs im Abstande von 1—2 cm an der Wand festgeklebt und die beiden rechten Fäden an dem einen, die linken an dem andern Stab so festgebunden, daß der Hals des Tieres möglichst hochgehoben wird und gerade über den Wasserspiegel vorragt. Wenn jetzt in der Medianlinie zwischen den Fäden der Hautmuskelschlauch gespalten wird (möglichst kurzer Schnitt!), so fließt gar kein Blut aus. In der Wundhöhle orientiert man sich nach der Bucca, deren hinterer Rand gewöhnlich zwischen den Tentakeln sichtbar wird; wenig dahinter liegen um das Magenrohr herum die Ganglien, die bisweilen stark verlagert sind, so daß man nicht ohne weiteres das oberste für das Cerebralganglion nehmen darf. (Zur Identifizierung dient die Form der Ganglien und vor allem die

Zahl und Richtung der abgehenden Nerven und Kommissuren.) Je nach Bedürfnis kann der ganze Schlundring, ein einzelnes Ganglion oder ein Teil eines Ganglions entfernt oder eine Kommissur resp. ein bestimmter Nerv durchschnitten werden. Wenn das Tier still liegt — und das tut es dank dem Pelletierin, — so haben alle diese Operationen keine Schwierigkeit, nachdem man sich einmal genau über die Lage orientiert hat. — Die Wunde wird durch nicht zu feste Naht verschlossen und hält stets wegen der bald eintretenden lokalen Kontraktur sehr dicht. — Jordan[47]) empfiehlt die Operation nicht von der dorsalen Seite, sondern vom Fuß aus vorzunehmen, weil nach seinen Beobachtungen die Wunden dort besser heilen. Ich habe mich hiervon bisher nicht überzeugen können und ziehe den andern Weg aus verschiedenen Gründen vor. Will man ans Visceralganglion, so ist allerdings der Zugang von der Sohle der einzig gangbare.

Druckmessungen: Zur Untersuchung des Innendrucks (Schwankungen im Tonus der Gesamtmuskulatur) kann man eine spitze, mit mehreren Seitenöffnungen versehene Glaskanüle von hinten in die Leibeshöhle einstechen und mit einer Ligatur befestigen. Die Kanüle wird mittels eines Schlauches mit einem Manometer verbunden, dessen Nullpunkt in dasselbe Niveau mit dem Wasserspiegel des Bassins zu bringen ist (Bethe[5]) S. 369).

Von den Nudibranchiern ist Tethys lepornia wegen ihrer Größe, Phyllirrhoe bucephalum wegen ihrer Durchsichtigkeit erwähnenswert. In ihren Lebensäußerungen sehr interessant, für Organuntersuchungen aber schlecht geeignet wegen starker Verwachsungen.

Pteropoden und Heteropoden.

Diese pelagisch lebenden Tiere sind fast vollkommen durchsichtig, so daß ihre innere Organisation ohne Eröffnung ganz überblickt werden kann. Trotzdem sind sie wegen der Zartheit ihrer Gewebe für viele Zwecke, für welche man sie tauglich halten könnte, unbrauchbar. Der Hauptreiz liegt für mich bei diesen Tieren in der außerordentlichen Verschiedenheit ihrer Bewegungsapparate (Flügel und Flossen verschiedenartiger Konstruktion, Steuerapparate, Segel usw.) und der Art und Weise, wie sie dieselben benutzen. Von allgemeineren Problemen ist es hauptsächlich das der Gleichgewichtserhaltung, welches an diesen Tieren, die fast alle mit Statozysten ausgerüstet sind, mit Erfolg bearbeitet werden kann. Leider ist sowohl den Statozysten wie auch den Ganglien (außer in der rohen und fast unbrauchbaren Weise, die Tiere zu durchschneiden) nur schlecht beizukommen und bei der Unmöglichkeit, die Wunden zu nähen (die Wunden klaffen stark und die Haut entbehrt fast vollkommen der Dehnbarkeit), gehen die operierten Tiere schnell zugrunde.

Material: Pteropoden: Tidemannia neapolitana, Cymbulia Peroni (Winter und Frühjahr). Heteropoden: Carinaria mediterranea (III—V), Pterotrachea mutica (I—XII).

Prosobranchier.

Hierher gehören die meisten gehäusetragenden Schnecken des salzigen und einige des süßen Wassers z. B. Paludina (Limnaeus und Planorbis des süßen Wassers gehören zu den Pulmonaten!). Das Gehäuse erschwert das Ar-



beiten mit diesen Tieren außerordentlich, so daß außer über die Säureproduktion (siehe v. Fürth[38])) keine eingehenderen Untersuchungen an ihnen angestellt worden sind.

Pulmonaten.

Sehr gute Versuchstiere für die Physiologie des Nervensystems sind die nackten Formen (Arion, Limax); auch die großen Helixarten haben sich für manche Zwecke, trotzdem sie ein Gehäuse haben, geeignet gezeigt. Biedermann[10]) verwandelt Helix pomatia in eine künstliche Nacktschnecke auf folgende Weise: Wie bekannt, kommen sie ganz aus ihrem Gehäuse heraus (soweit das überhaupt möglich ist), wenn man sie für einige Zeit unter Wasser bringt (Folge der Erstickung und Quellung). Dies wird beschleunigt, wenn das Wasser warm ist (36 °). Sind sie total erschlafft, so wird unterhalb des Gehäuses eine feste Ligatur angelegt und über derselben der im Gehäuse bleibende Teil abgeschnitten. Die reduzierten Tiere halten sich gut, kriechen und fressen sogar.

Das eigentliche Zentralnervensystem ist im Vorderkörper um die Bucca vereinigt; von dort aus gehen Nerven in den Fuß und die Körperwand. Diese Nerven sind aber nicht ganglienzellfrei und gehen nach der Peripherie zu in einen zellreichen Plexus über. Man kann also kein Nervmuskelpräparat erhalten, sondern nur ein Nerv-Nervennetz-Muskelpräparat. Am besten benutzt man als reagierenden Teil das aborale Körperende großer Nacktschnecken (Arion, Limax [Bethe[5]) p. 119, Biedermann[10])]; Ariolimax [Jenkins und Carlson][45]). Die Tiere werden von vorne nach hinten aufgeschnitten (das letzte Ende bleibt geschlossen), alle überflüssigen Organe werden herausgenommen, die zwei langen Fußnerven am Schlundring durchschnitten und nach hinten präpariert. Der Schwanz wird proximal festgesteckt, und von seinem distalen Ende wird zum Hebel übertragen. Bei schwacher Reizung tritt nicht Kontraktion, sondern Erschlaffung der Muskulatur ein, erst bei stärkerem Reiz Kontraktion (Bethe, Biedermann). Durch die Präparation bildet sich leider ein ziemlich starker Tonus aus, bei Limax am wenigsten, mehr bei Arion, am meisten bei Helix, der sehr lästig ist.

Zur Beobachtung der Wellenbewegung der Fußsohle sind Limaxarten am geeignetsten, besonders zur Demonstration der Unabhängigkeit dieser Bewegungen vom Zentralnervensystem (Künkel[52])). Die Operation ist sehr einfach; man schneidet mit scharfem Messer den Kopf ab.

Jordan[48]) hat einen eignen, wie es scheint, sehr zweckmäßigen Apparat konstruiert, um die Tonusschwankungen der Helixmuskulatur zu studieren. Die Beschreibung desselben läßt sich nicht kurz wiedergeben, weswegen auf die Originalarbeit verwiesen werden muß.

C. Cephalopoden.

Die vierkiemigen Cephalopoden (Nautilus) kommen wegen ihrer Seltenheit und geringen Lebenszähigkeit nicht in Betracht. Von den zweikiemigen Formen sind sowohl Dekapoden (Loligo, Sepia) als auch Oktopoden (Octopus vulgaris und macropus, Eledone moschata) im Mittelmeer häufig und stets zu haben. Wegen ihrer Größe und sonstiger guter Eigenschaften haben sich die Oktopoden am brauchbarsten gezeigt.

Die Anatomie von Eledone und Loligo ist bei Vayssière[94]) (Tafel 1—4), die von Sepia in Vogt und Yung[96]) (p. 853) ausführlich behandelt. In Kürze kann dieselbe kaum behandelt werden. Es sei nur zur Verständigung über Bauchseite und Rückenseite folgendes gesagt: Vergleichend anatomisch ist die dem Boden zugewandte Seite des Rumpfes als hinterer Abfall des Rückens, die hintere Spitze des Rumpfes als Gipfel des Rückens anzusehen, so daß sich die Bauchseite des Tieres nur vom Kopf bis zur Einmündung des Afters erstreckt (Leuckart). Diese Auffassung ist von einigen Physiologen bei der Bezeichnung von vorne und hinten benutzt worden, wie mir scheint, zum Nachteil der Klarheit. Auch die Zoologen behalten da, wo es sich nicht um prinzipielle Stellungnahme zu dieser Frage handelt, die natürliche Bezeichnung bei und nennen im gewöhnlichen Gebrauch die helle, dem Boden zugewandte Seite in ihrer Totalität Bauchseite, wodurch die Verständigung sehr vereinfacht wird.

Töten: Zu Präparationszwecken tötet man die Tiere in 1 % Chloralhydratlösung, zur Herstellung physiologischer Präparate dadurch, daß man durch einen Medianschnitt zwischen den Augen die Knorpelkapsel der Ganglien eröffnet, letztere ausbohrt und die Arme, welche sich noch lange bewegen, vor dem Kopfe abscheidet. Man hüte sich besonders bei Sepia vor dem Biß der Kiefer!

Fesselung: Für alle Operationen, nach denen das Tier noch längere Zeit am Leben bleiben soll, hat sich das Fesselungsverfahren v. Uexkülls (Leitfaden S. 85) aufs beste bewährt. Es gilt vor allen Dingen, die Tiere daran zu verhindern, sich mit den Saugnäpfen irgendwo festzusaugen. Dies wird dadurch erreicht, daß die Arme in einen Leinwandschlauch eingebunden werden. Der Schlauch aus grober Leinwand (30 cm lang und 22 cm im Umfang) ist am einen Ende umgenäht und mit einem Zug versehen. Er wird von hinten über das Tier gestreift, der Zug hinter den Armen und vor den Augen fest zugezogen und gebunden und der Schlauch umgekrempelt, so daß er die (gestreckten) Arme umschließt. Während der Schlauch mitsamt den Armen von einem Assistenten stark gespannt wird, wird noch an zwei Stellen ein dünner Bindefaden fest um den Schlauch herumgebunden. Nach dieser Vorbereitung kommt das Tier auf den Halter, einen auf einem Stativ befestigten länglichen Drahtkorb, der sich am einen Ende in eine feste Eisenstange fortsetzt. Auf dieser Stange werden die Arme noch einmal festgebunden oder mit einer Spangenvorrichtung fixiert. — In eine der beiden Mantelspalten wird ein mit der Seewasserleitung verbundener Gummischlauch eingeführt und eventuell mit einer Nadel am Mantelrand festgenäht. Bei richtiger Regulierung des Zuflusses stellt sich bald wieder regelmäßige Atmung ein. — Für Blutdruckversuche und zur Blutgewinnung hat sich das alte Verfahren von Fredericq, die Tiere mit Nägeln auf ein Brett festzunageln, als praktischer erwiesen, weil durch die starke Ligatur ein großer Teil des Blutes außer Zirkulation gesetzt wird.

Gewinnung des Sekrets der Speicheldrüsen (Giftdrüsen) [Krause[49]) Hyde[44])]: Die Speicheldrüsen von Octopus macropus werden mit dem in den Ösophagus mündenden gemeinsamen Ausführungsgang ausgeschnitten, letzterer in ein Uhrschälchen gehängt und mit faradischen Strömen gereizt. Es fließt ein anfangs klares, später getrübtes Sekret aus. Bei Reizung des Ganges

in situ nach Einbindung einer Kanüle wird nicht wesentlich mehr Sekret gewonnen (Eröffnung vom Rücken, wie bei der Blutgewinnung, siehe unten).

Harngewinnung: Da für gewöhnlich nur wenig Harn in den Harnblasen gefunden wird, unterband v. Fürth[37]) die Ureteren und ließ den Harn sich 1—3 Tage ansammeln. Das Tier wird zu diesem Zweck in Rückenlage auf den Halter aufgebunden und gut respiriert. Der Mantelschnitt beginnt 2 cm von der Mittellinie und 3 cm vom Mantelrand und geht 2—3 cm nach außen hinten. Die Schnittränder werden auseinander gehalten, die Ureterpapille aufgesucht, vorgezogen und unterbunden. Tiefe Mantelnaht mit krummer Nadel über dem durch die Mantelspalte eingeführten Finger, außerdem Hautnaht. Zum Entleeren des Harns wird der Mantel ganz geöffnet, das Tier mit dem Bauch nach unten gehalten und die abhängigste Stelle des Harnsacks angeschnitten.

Einfacher dürfte sich die Operation gestalten bei Anwendung des neuerdings beschriebenen Umkrempelungsverfahrens von Magnus[61]): Ein Assistent hält das Tier an den Armen. Man zieht den Mantel etwas vom Rumpf ab, durchschneidet die Muskelbrücke zwischen Mantel und Bauch und klappt den Mantel nach hinten, wodurch der in ihm verborgene Hinterkörper frei wird, so daß man direkt an Kiemen, Ureterenpapillen, After usw. heran kann. Nachher wird der Mantel wieder in die alte Lage gebracht. Die Tiere leben gut weiter.

Gewinnung von Lebersekret [Cohnheim[22])]: Tötung der Tiere bald nach der Fütterung (mit lebenden Carcinus), Einbinden von Glaskanülen in die Ausführungsgänge der Leber und gelindes Drücken.

Blutgewinnung [Fredericq[27])]: Aufnagelung auf ein Brett in Bauchlage, Spalten des Mantels in der dorsalen Mittellinie, wodurch man in die Mantelhöhle kommt. Aufschneiden des Eingeweidesacks über dem durchschimmernden Ösophagus, längs dessen die große Arterie verläuft. Diese wird frei präpariert, peripher unterbunden, zentral abgeklemmt und nach Spaltung in dieselbe eine Kanüle eingebunden, aus der das Blut nach Abnehmen der Klemme in das vorgehaltene Gefäß läuft. — Cohnheim bindet eine zweite Kanüle in den peripheren Teil und spült mit Seewasser nach.

Resorptionsversuche [Cohnheim[22]):] Der Darm wird am Anus unterbunden und hier und am Ösophagusende (eventuell nach Unterbindung der Speicheldrüsengänge) durchschnitten und herausgenommen. Vom Ösophagus aus wird die zu resorbierende Lösung mittels Bürette eingefüllt und dann auch hier abgebunden. Der Darm kommt in ein Schälchen mit Blut desselben Tieres, welches mit Sauerstoff durchlüftet wird.

Herzbewegungen und Blutdruck [Fredericq[27]), Fuchs[39]), Ransom[72])]: Zur Beobachtung der Herzbewegungen wird der Pulp in Rückenlage auf ein Brett genagelt, dieses in eine Schale mit Seewasser gelegt und beschwert, und über dem Herzen ein Fenster in den Mantel geschnitten (eventuell noch weiter freigelegt). In dieser Lage können mit der Suspensionsmethode Kurven von den verschiedenen Herzabteilungen aufgenommen werden. Zu Blutdruckversuchen wird wie oben bei der Blutgewinnung vom Rücken her die Aorta freigelegt und eine Kanüle eingebunden. (Fuchs benutzt eine T-Kanüle, deren beide kurzen Enden in die geschlitzte Aorta eingebunden werden.) Der Herznerv geht vom Ganglion viscerale (in der Knorpelkapsel gelegen)

aus und wird am besten im Kopf am Austritt aus der Schädelkapsel aufgesucht und gereizt. (Näheres über die Präparation bei Fuchs.)

Atmung: Fröhlich[34]) bindet zum Aufschreiben der Atembewegungen ein T-Rohr in den Trichter ein. Das eine freie Ende wird mit einer Mareyschen Trommel verbunden, das andere, mit Gummischlauch und Klemme armiert, dient zum Abfluß des Atemwassers, das ein Schlauch in einen Mantelspalt einführt, außerdem zum zeitweisen Verschluß. Neben den Schwankungen des Innendrucks der Atemhöhle können die Bewegungen der Ringmuskulatur des Mantels aufgeschrieben werden, indem mittels eines Hakens ein Faden an der Seite des Mantels befestigt wird, welcher die Bewegungen über eine Rolle auf den Hebel überträgt.

Nervenpräparat (v. Uexküll[83])): Als solches kann nur die Kommissur zwischen Visceralganglion und Mantelganglion (Ganglion stellatum) in Betracht kommen. Man öffnet durch einen Medianschnitt die Mantelhöhle von unten, klappt nach Durchschneidung der Muskelbrücke den Mantel auseinander und heftet ihn am Boden der Präparierschale mit Nadeln fest. Die Kommissur verläuft z. T. innerhalb eines den Mantelraum frei durchziehenden Muskelbandes, z. T. in der Halsmuskulatur. Man nimmt das Muskelband auf den Finger und spaltet es; da der Nerv in einem präformierten Kanal liegt, ist er leicht zu isolieren. Er wird von da aus weiter nach vorne bis zur Knorpelkapsel präpariert und hier abgeschnitten (nach Boruttau mit einem Teil des Ganglions); am andern Ende läßt man mit Vorteil auch das Ganglion stellatum dran, das leicht in Zusammenhang mit dem Nerven exzidiert werden kann (zu Galvanometerversuchen sehr geeignet).

Nerv-Ganglion-Muskelpräparat (v. Uexküll[84]): Die Präparation des Nerven geschieht wie vorher. Mit dem Ganglion stellatum wird ein 2 cm langes und $^3/_4$ cm breites Mantelstück ausgeschnitten, dessen Bewegungen auf einen Schreibhebel übertragen werden. (Benutzbar zur Messung der Leitungsgeschwindigkeit des Nerven; die Nerven haben keine konstante Länge, sondern variieren dieselbe auch unter physiologischen Verhältnissen in ziemlich hohem Maße.) Man kann auch lateral vom Ganglion einen der von ihm ausgehenden Nerven präparieren und unter Ausschaltung des Ganglions direkt reizen, um von einem daranhängenden Mantelstück Kurven zu schreiben. Lange Nerven sind so nicht zu erhalten, auch ist es nicht ganz sicher gestellt, daß ihre Fasern direkt in die Muskulatur übergehen und nicht etwa unter Vermittelung von Ganglienzellen. Immerhin spricht mancherlei dafür, daß wir es hier mit einem wirklichen Nerv-Muskelpräparat zu tun haben.

Operationen am Zentralnervensystem (v. Uexküll[85]): Fesselung auf dem Halter in Bauchlage, künstliche Respiration. Man orientiert sich mit dem Finger über die Lage der Schädelkapsel, spaltet die Haut über derselben, schiebt sie und die Muskeln zur Seite, bis man auf die Verbindungssehne der Augen trifft, die zur Orientierung dient, und spaltet die Knorpelkapsel in der Mitte. Die oberen Partien der Ganglien liegen jetzt operierbar vor einem. Die klebrige Umhüllungsmasse ist nur schwer zu entfernen. Um die tieferen Ganglien zu erreichen, muß ein Auge geopfert werden, wodurch die Reaktionen des Tieres an sich nicht geändert werden, aber eine nicht stillbare, langsame Blutung bewirkt wird. Hautnaht.

Entfernung der Statozysten (Fröhlich[34]): Nach Fesselung auf dem Halter in Rückenlage wird der Trichter nach der Seite gezogen und rechts von ihm (vom Beschauer gesehen) ein Hautschnitt parallel zur Medianlinie (3—4 cm lang) gemacht. Unter Vermeidung der bläulichen Blutgefäße arbeitet man sich in die Tiefe bis zur Knorpelkapsel, in der man den Statolithen durchschimmern sieht. Der Knorpel wird über demselben eröffnet, der Stein mit spitzer Pinzette entfernt und ausgekratzt. Um den Stein der rechten (vom Beschauer aus linken) Statozyste auch noch zu entfernen, wird die knorpelige Scheidewand zwischen beiden Höhlen durchstoßen und die Höhle von hieraus ausgeräumt. Hautnaht.

Augen: Die Akkommodation des hochentwickelten Cephalopodenauges hat durch Beer[2]) eine eingehende Bearbeitung gefunden. Zur Bestimmung der Refraktion wurde hauptsächlich die Skiaskopie angewendet. Wegen der Ausführung derselben an diesem Objekt und wegen der anderen angewandten Methoden muß aufs Original verwiesen werden. (Siehe auch Hess[42b]). — Die Pupillenreaktion ist von Magnus[60]) physiologisch und pharmakologisch untersucht worden. Die Operationen am Zentralnervensystem wurden auf dem oben beschriebenen Wege ausgeführt. Die Giftapplikation geschah durch Zusatz der Gifte zum Seewasser oder durch intravenöse Injektion ins Kiemenherz nach Umkrempelung des Mantels (siehe oben).

Arthropoden.

Trotz des enormen Formenreichtums zeigt dieser Tierstamm physiologisch ziemlich gleichartige Verhältnisse. Überall (außer bei parasitisch zurückgebildeten Arten) finden wir ein äußeres Skelett segmentalen Aufbaus und paarige Gliedmaßen, deren Glieder wie die Segmente des Körpers durch weiche, chitinige Häute miteinander verbunden sind. Die Muskeln verbinden in der Regel zwei benachbarte Segmente (resp. Glieder), sind quergestreift und erhalten ihre Innervierung, soweit bis jetzt bekannt ist, ausschließlich vom Zentralnervensystem, das aus einer Kette mehr oder weniger verschmolzener, ventralgelegener Ganglien und dem dorsalen Oberschlundganglion besteht. Dementsprechend zeigen die Muskeln funktionell nur geringe Unterschiede und der allgemeine Bewegungsmodus dieser Tiere ist höchst gleichförmig. Auch in Aufbau, Innervation und Tätigkeit des Herzens zeigen sich nur unwesentliche Differenzen. Schließlich haben wir überall nach gleichem Typus ausgebildete Rezeptionsorgane. Wesentlichere Unterschiede treten nur im Gebiet des Atemapparats zutage, je nachdem wir es mit Land- oder Wassertieren zu tun haben. Wenn es sich also nicht um das Studium der speziellen Anpassungen an die Lebensbedingungen handelt, so kann man in dieser Tiergruppe mit einigen wenigen Versuchstieren auskommen. Daß es allerdings auch hier manchmal von dem größten Wert ist, bisher noch nicht oder nur in geringem Grade physiologisch bearbeitete Arten zu Versuchen heranzuziehen, haben erst kürzlich die Arbeiten von Carlson gezeigt, der im Limulusherzen ein Objekt entdeckte, bei dem im Gegensatz zu allen bekannten Tierherzen die nervösen Zentren und die Muskulatur anatomisch vollkommen voneinander getrennt sind.

Fesselung: Die zu feineren Operationen nötige Bewegungslosigkeit des Versuchstiers verschafft man sich bei den Arthropoden am besten durch Fesselung und nicht durch Narkose oder andere Vergiftung, da alle bisher versuchten chemischen Mittel sehr leicht dauernde Schädigungen oder den Tod herbeiführen, während andrerseits eine vollständige Fesselung bei dem harten Panzer leicht bewerkstelligt werden kann. Für Krebse (Macruren und Brachyuren) benutzt man Bretter, in welche entsprechend der Körperform des Versuchstiers Löcher gebohrt sind. Durch diese werden Fäden gezogen und über dem Tier (resp. auf der Unterseite des Brettes) gebunden. Die Beine werden zweckmäßiger Weise auf beiden Seiten mit je einem Faden zusammengebunden und dieser um einen seitlich am Brett angebrachten Nagel geschlungen. (Bei Einzelfesselung der Beine tritt leicht Autotomie ein.) Für manche Zwecke genügt es auch den Carapax mit einer großen Kühlerklemme zu fassen und diesen mit einem Kreuzkopf an einem Stativ zu befestigen. (Bethe[3]) p. 534 u. [4]) p. 459). — Neuerdings empfiehlt v. Uexküll (Leitfaden p. 81) weitmaschige, in Rahmen gespannte und auf einem Stativ befestigte Drahtnetze. Auf diese werden die Krebse usw. gelegt und mit Gummibändern, die an den Enden Haken tragen, festgehakt.

Kleinere Crustaceen und viele Tracheaten kann man in genügender Weise auf Korkplatten durch eingesteckte Drahtklammern oder kreuzweis gesteckte Stecknadeln fixieren. Für Heuschrecken, Bienen und Wasserkäfer habe ich eigne kleine Operationstische (Bethe[4]) p. 494, p. 503 u. p. 518) für nötig befunden.

A. Crustaceen.

Wegen ihrer Größe werden zu operativen Zwecken und für Organuntersuchungen fast nur Dekapoden benutzt.

Material: Macruren = langschwänzige Krebse: Flußkrebs, Astacus fluviatilis; Hummer, Homarus vulgaris; Languste, Palinurus elephas; Palaemon- und Penaeus-Arten [besonders für Statozysten-Operationen: Penaeus membranaceus]. Brachyuren: Carcinus Maenas, Maja spinado. Alle das ganze Jahr zu haben. Gute Objekte sind aber auch: für Untersuchungen am Nervensystem der Stomatopode Squilla Mantis (stets von hinten über den Rücken anzufassen, da die plötzlich vorgeschleuderten Raubbeine schwere Verletzungen anrichten können!); für Statozysten-Versuche die Mysiden.

Wegen der Anatomie siehe Huxley[43b]) und Lang[53]).

Verdauungsversuche: Zur Gewinnung von Magensaft ohne Schädigung des Versuchstiers (Flußkrebs, Hummer) führt man eine Pipette durch den Mund in den Magen und saugt stark an (Bethe). Die Pipette muß vorne etwa 2 cm lang auf 3—4 mm Durchmesser (starke Wandung!) ausgezogen und im Winkel von 140—150° abgebogen sein. (Es ist zweckmäßig, in das spitze Ende der Pipette seitliche Öffnungen einzublasen. Fig. 6a.) Um den Widerstand der die Mundöffnung bedeckenden Mandibeln zu überwinden, führt man die Spitze von vorne, wo man vor dem Mund ein weichhäutiges Feld sieht, unter die Mandibeln. Wenn die Spitze die Mundöffnung berührt, werden die Mandibeln reflektorisch geöffnet. — Auf dem gleichen Wege können Substanzen zu Resorptionsversuchen in den Magen gebracht werden

(Jordan); auch durch Injektion ins Rektum ist dies möglich (St. Hilaires) jedoch nach Jordan nicht zweckmäßig.

Herz: Zur Freilegung des Herzens schneidet man über dem Herzen auf der dorsalen Seite des Tieres ein Fenster in den Panzer (die Stelle, wo das Herz liegt, ist bei vielen Arten durch eine Depression des Panzers markiert). Dies geschieht am schonendsten in folgender Weise: Die vier Ecken des gewünschten, rechtwinkligen Fensters mögen A, B, C und D heißen. Man setzt in A und B die scharfen Spitzen einer Knochenzange fest ein und schließt langsam die Zange. Man wiederholt dies bis sich eine tiefe Rille ins Chitin gegraben hat, hört aber auf, so wie sich stellenweise das dünne Epithel unter dem Panzer zeigt. Dann verfahre man ebenso zwischen B—C und A—D, zuletzt zwischen D—C, wobei man sich vorzusehen hat, daß man nicht durchbricht. An einer Stelle, wo Epithel freiliegt, wird ein Excavator zwischen Chitin und Epithel eingeschoben und das Chitinstück in die Höhe gehebelt. Das bei einiger Geschicklichkeit unverletzt gebliebene Epithel-

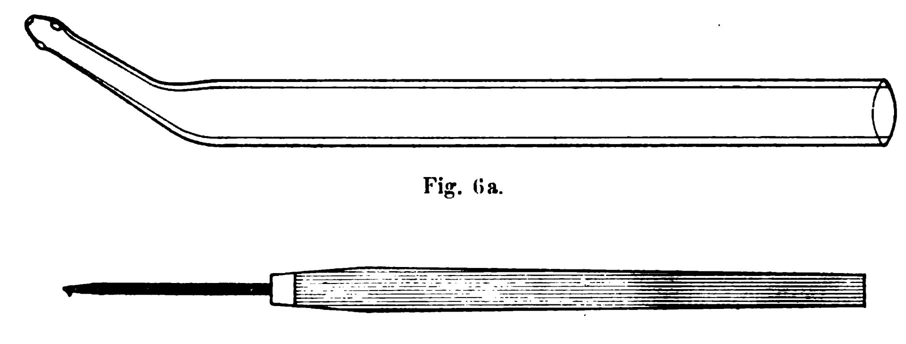


Fig. 6a.

Fig. 6b.

häutchen wird dann mit der Pinzette gefaßt, mit spitzer Schere an den Rändern umschnitten und abgezogen [Bethe[3]) S. 536]. — Statt der Zange kann man sich bei kleineren Tieren mit Vorteil eines „Reißzahnes" (kleinsten Formats) bedienen, wie ihn die Mechaniker zum Schneiden dicker Blechplatten benutzen (Fig. 6b) [Bethe[4]) S. 519].

Das Herz liegt dann umgeben vom Herzbeutel frei vor einem. Um sich zu überzeugen, daß die Gefäßbahn nicht geschlossen ist, öffne man den Herzbeutel und bringe einen Tropfen Berlinerblau oder Karminaufschwemmung auf das Herz. Bei der ersten Diastole sieht man, wie der Farbstoff in die venösen Ostien hineingesogen wird. (Man bekommt so ganz hübsche Injektionspräparate.)

Zum Aufschreiben der Herzbewegungen bedient man sich am besten des Suspensionsverfahrens innerhalb des Tierkörpers selber und auch am ausgeschnittenen Organ (Bottazzi, Carlson). Plateau[70]) wandte Fühlheber an. Es gibt Beschleunigungsnerven und Hemmungsnerven; über ihren Verlauf herrscht noch keine Übereinstimmung. Nach Plateau verläuft ein Beschleunigungsnerv in der Wand der Arteria cephalica (von späteren Autoren geleugnet). Nach Carlson[18]) gehen bei Palinurus Äste der beiden ersten rückläufigen Hautnerven, welche aus dem Vorderteil der Bauchkette ent-

springen, zum Herzen. Das erste Paar hemmt, das zweite beschleunigt die Herzbewegungen.

Muskelpräparate und Nervmuskelpräparate (Fredericq und Vandevelde[31])): Infolge der Ausbildung eines äußeren Skeletts sind die meisten Muskeln nicht ohne Verletzung präparierbar. Bei der großen Einfachheit der Muskelverteilung in den Gliedmaßen (in jedem Glied existiert in der Regel nur je ein Beuger und ein Strecker) verzichtet man daher am besten auf die Freilegung des zu untersuchenden Muskels und macht den einen Muskel (Beuger oder Strecker) dadurch unschädlich, daß man die Endsehne (stets distal gelegen) dicht an der Artikulation mit dem nächsten Glied durchschneidet. Am meisten benutzt ist das Scherenpräparat (Astacus oder Homarus): Der Scherenfuß wird dicht am Körper abgeschnitten, die Sehne des Öffnungsmuskels (resp. Schließmuskels) durchtrennt, das Endglied in ein Stativ gespannt und an der beweglichen Branche (Daumen) ein Schreibhebel befestigt. Zur direkten Reizung werden zwei Löcher an geeigneten Stellen durch das Endglied gebohrt und Platindrähte eingeführt. Zur indirekten Reizung ist es nicht ratsam den Nerven freizulegen, da er sehr schnell abstirbt. Man sticht vielmehr zwei Platindrähte im Abstand von cirka 1 cm durch das zweite oder dritte Fußglied. Ist die Freilegung des Nerven unbedingt erforderlich (Messung der Leitungsgeschwindigkeit), so führe man dies nur auf kurze Strecken aus. — In derselben Weise kann man auch jedes Gangbein zum Schreiben herrichten. — Zur Untersuchung nackter Muskeln (ohne umgebenden Panzer) eignen sich die langen Streck- und Beugemuskeln des Abdomens der Macruren, welche einerseits am Thorax, andrerseits am Abdomen inserieren. Am leichtesten zu isolieren ist der am ersten Segment des Abdomens inserierende Extensor. — Zu mikroskopischen Beobachtungen an lebenden Muskelfasern eignen sich die Antennenmuskeln vieler Copepoden.

Operationen am Zentralnervensystem (Bethe[3]) p. 535): Da in dem festen Kasten des Carapax ein gelinder Überdruck herrscht, so fließt bei der Eröffnung eine nicht unbedeutende Blutmenge aus. Zu diesem Blutverlust käme noch der Verlust einer zweiten Blutportion während der Operation selbst. Um den Blutverlust auf ein Minimum zu reduzieren, wird der Innendruck durch Auspumpen des Magens verringert. Zu diesem Zweck führt man nach dem Aufbinden des Tieres ein Glasrohr in den Magen ein (Fig. 7), welches am freien Ende mit einem Schlauch und Schlauchklemme versehen ist (Beschreibung des Rohres [Fig. 6a] und Technik der Einführung siehe S. 104 unter „Verdauungsversuche"). Bereits bei der Einführung des Rohres tritt Magensaft in dasselbe ein; dann wird durch Saugen am Schlauch der Druck in der Kanüle vermindert, wobei noch mehr Flüssigkeit austritt, und der Schlauch abgeklemmt. Wird jetzt in der auf S. 105 unter „Herz" beschriebenen Weise der Chitinpanzer eröffnet, so sinkt das Epithelhäutchen nach Fortnahme der Chitinplatte tief ein und ein großer Teil des noch im Magen befindlichen Saftes tritt in das Glasrohr. (Damit sich das Rohr nicht durch unverdaute Nahrungsreste verstopft, ist es gut, die Tiere 1—2 Tage vor der Operation hungern zu lassen). Nach beendeter Operation wird die Schlauchklemme geöffnet und so viel von dem Magensaft durch Blasen in den Schlauch hineinbefördert (bei unzureichender Menge auch noch

etwas Luft), daß das Blut eben über die Wundränder zu treten droht. Dann wird der Schlauch wieder abgeklemmt und die Wunde in der oben (p. 74) beschriebenen Weise mit Wachs verschlossen. Luft darf auf keinen Fall in der Körperhöhle zurückbleiben, da sonst Embolien entstehen. Den Teil, an dem operiert wird, lagere man möglichst hoch, um den Blutzufluß zu vermindern. Zur Entfernung überflüssigen Blutes verwende man weder Watte noch Fließpapier, sondern sauge es mit dünnen Glaspipetten ab. Da das Blut sehr leicht gerinnt und die Pipetten verstopft, halte man mehrere bereit. Alle feineren Operationen können nur unter der Lupe (Westiensche oder Braus-Drünersche Doppellupe) ausgeführt werden. Um in die oft sehr tiefen Operationshöhlen mit kleiner oberer Öffnung Licht zu bekommen, läßt man von einer dicht über dem Tischblatt angebrachten Lampe Licht auf einen hinten an der Lupe angebrachten Hohlspiegel fallen, welcher das Licht entweder direkt in die Wundhöhle wirft oder (bei sehr tiefen Löchern) dies unter Vermittelung eines kleinen, mit einem langen Bleidraht vorne an der Lupe angebrachten Planspiegels tut (Fig. 7).

Operationen am Gehirn werden von der Dorsalseite ausgeführt. Nach Eröffnung des Panzers werden die vorderen Magenmuskeln durchschnitten und der Magen selbst, der das Gehirn überdeckt, wird nach hinten geschoben und durch einen Haken (K in Fig. 7) zurückgehalten.

Operationen am Bauchmark werden von der ventralen Seite ausgeführt. Sie werden durch zwei Umstände sehr erschwert. Erstens zieht unter dem Bauchmark das sehr dünnwandige ventrale Blutgefäß entlang, dessen Verletzung nur bei wenigen Operationen vermieden werden kann, zweitens muß man sich den Eingang zwischen den meist sehr nahe aneinandergelegenen Beinen erzwingen. Die Wundöffnung kann daher nur sehr klein gemacht werden.

Die Durchschneidung einer oder beider Schlundkommissuren kann von oben her vorgenommen werden. Bei manchen Tieren, z. B. bei Carzinus, gelingt sie aber auch mit Sicherheit auf folgendem Wege: Wenn man die Maxillarfüße auseinanderklappt, so bemerkt man vor den Mandibeln ein kleines weichhäutiges Feld, den vorderen Teil des Mundfeldes. Dieses wird mit einem feinen Messer durchstochen. Durch den so entstandenen Schlitz wird ein auf der Innenseite geschärfter Haken eingeführt, mit welchem die Kommissur erfaßt und durchschnitten wird. Ein Verschluß ist nicht nötig. (Wegen der Ausführung der einzelnen Operationen am Gehirn und Bauchmarke siehe Bethe[3 u. 4]).)

Statozysten: Statozysten sind bisher nur bei den Schizopoden (Mysis) und den Decapoden bekannt. Bei ersteren liegen sie in den inneren Schwanzanhängen, bei letzteren im Basalglied der ersten (inneren und kleineren) Antennen. Die Entfernung dieser Organe bereitet meist keine Schwierigkeiten. Am einfachsten ist es, die erste Antenne resp. den inneren Schwanzanhang ganz abzuschneiden. Bei Mysis gelingt es, die Statozyste auszustechen (man lege dazu die Tiere auf feuchtes Fließpapier, stütze sie von den Seiten durch Fließpapierbäusche und drücke den Thorax mit einem Bleidraht herab, damit sie nicht fortspringen). Bei Penaeus, Palaemon und Astacus kann man die Statozysten eröffnen und auskratzen (Fesselung in Rückenlage und Seitwärtsziehen des Augenstiels und der zweiten Antenne). —

Um statolithenlose Tiere zu erhalten, kann man die Häutung abwarten, wobei die Steine mit abgeworfen werden. Man setze die Tiere sofort in filtriertes Seewasser, da sie gleich nach der Häutung Sand usw. in die Zysten hineinstopfen. Um Tiere mit eisernen Statolithen zu bekommen, gibt man ihnen nach

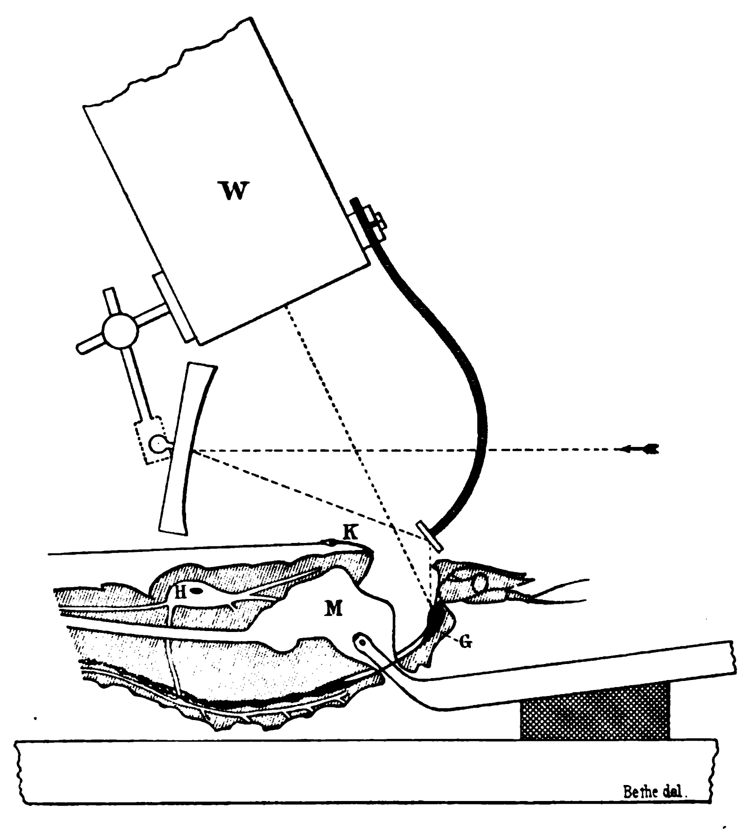


Fig. 7.

Idealer Längsschnitt durch den vorderen Teil eines zu einer Operation am Gehirn G aufgebundenen Flußkrebses. In den Magen (M) ist die Kanüle eingeführt; sie ruht auf einem Korkkeil. Ein breiter Blechhaken (K) hält den Magen nach hinten. W = Westinsche Lupe. Das Licht kommt in der Richtung des ——→ von einer Lampe. (Die optischen Teile sind auf die Hälfte verkleinert, ebenso die Entfernungen derselben voneinander und vom Objekt). H = Herz, davon ausgehend die großen Arterien. Schwarz das zentrale Nervensystem. (Der Längeschnitt unter Benutzung einer Figur aus Huxley: Der Krebs (Leipzig 1881) gezeichnet.)

der Häutung Eisenfeile ins Bassin (Kreidl[50]) und Prentiss[71]). Man kann die Statolithen auch künstlich entfernen, indem man die die Zyste schließende Klappe hochhebt und den Sand mit starkem dünnen Wasserstrahl ausspült (Prentiss bei Palaemonetes, Fröhlich[35]) bei Penaeus). Auch diese Tiere füllen Eisenfeile in die Zysten und können mit dem Elektromagneten untersucht werden (Prentiss). — Zur Untersuchung der Bewegungsstörungen leistet ein rotierendes Bassin gute Dienste. Zur Untersuchung der kompen-

satorischen Augenbewegungen sind besondere Vorrichtungen nicht nötig, wenn es sich nicht um eine genauere Messung der Ausschläge handelt. Hierzu wandte Clark[19]) eine vertikal stehende um ihre Achse drehbare Scheibe an, welche eine vom Zentrum ausstrahlende Winkeleinteilung trug. Auf diese wurden die Krabben mit Gummibändern so befestigt, daß der Schnittpunkt der Augenstielachsen ins Zentrum der Winkelteilung fiel.

Augen: Um optische Reize fernzuhalten, empfiehlt es sich nicht, die Augen zu zerstören; viel zweckmäßiger ist es, die Cornea mit einer Lösung von schwarzem Asphalt in Chloroform oder von Schellack und Kienruß in Alkohol zu bestreichen. — Über die Technik der Untersuchung der zusammengesetzten Augen siehe Exner[26]).

B. Tracheaten.

Die meisten bisher angestellten Experimentaluntersuchungen beziehen sich auf die Physiologie des Zentralnervensystems und der Muskeln.

Muskelpräparat: Schoenlein[75]) benutzte die Schwimmbeine von Dytiscus. Ein Scherenschnitt durch die Coxa löst das Bein vom Körper; darauf werden der Tarsus und die Haare und Stacheln der Tibia abgeschnitten. Durch das durchbohrte untere Ende der Tibia wird ein Faden gezogen. Das Femur wird mit Insektennadeln, die zu gleicher Zeit den Strom zuführen, an beiden Enden (auf der Beugeseite) auf ein Korkprisma festgesteckt. Das Femur muß senkrecht nach unten stehen, die Tibia herabhängen und ihre Bewegungsebene parallel zu dem sehr leichten Hebel stehen, an dem der Faden befestigt wird. — Zu mikroskopischen Beobachtungen an lebenden Muskeln sind die durchsichtigen Larven mancher Dipteren, besonders von Corethra, sehr geeignet.

Zur Feststellung der Leitungsgeschwindigkeit im Bauchmark benutzt Carlson[17]) Myriapoden. Das Verfahren ist dem bei Würmern angewandten sehr ähnlich (siehe S. 86).

Operationen am Zentralnervensystem werden in derselben Weise wie bei Crustaceen ausgeführt. Über technische Einzelheiten siehe Bethe[4]). Fesselung siehe oben unter Arthropoden (S. 104).

Herz: Die Herzen der echten Tracheaten sind wegen ihrer Zartheit und Kleinheit für physiologische Zwecke nicht besonders geeignet. Ein vorzügliches Objekt ist aber das Herz des Xiphosuren*) Limulus (Carlson[16]), welches eine Länge von 15—20 cm bei einer Breite von 2,5 cm erreicht. Die Hauptvorzüge dieses Objektes liegen aber nicht in seiner Größe und relativen Lebenszähigkeit, sondern in folgenden von Carlson entdeckten Eigenschaften: Auf dem Herzen liegt ein System von Nervenfasern und Ganglienzellen, welches ohne Verletzung der Muskulatur abpräpariert werden kann; das Herz steht danach still und verhält sich jetzt wie ein Skelettmuskel. Die Anordnung dieses Herznervensystems läßt noch eine Menge anderer Experimente zu, welches sich an keinem andern Herzen bisher haben aus-

*) Anmerkung: Die Xiphosuren wurden früher zu den Crustaceen gerechnet. Sie besitzen keine Tracheen, sondern atmen mit Kiemenfüßen. Ihr Vorkommen ist auf bestimmte Stellen des indischen und großen Ozeans beschränkt.

führen lassen. Leider ist dieses wunderbare Versuchsobjekt für europäische Forscher fast unerreichbar. Um die Bewegungen des Herzens und seiner Teile zu registrieren, bediente sich Carlson des Suspensionsverfahrens.

Tunikaten.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Herz der Salpen und Ascidien geschenkt worden, welches die Eigentümlichkeit hat, bald in der einen, bald in der andern Richtung mit wechselndem Rhythmus zu schlagen. Vollständige Isolation ist bei Salpen nicht möglich, wohl aber bei Ascidien. Die Lage des Herzens ist leicht zu erkennen, da man es durch die Körperwand hindurchsieht. Die Durchschneidungs- und Reizungsversuche bieten technisch nichts besonderes (Schultze[77]).

Die Herausnahme des Ganglions ist bei Salpen und Ascidien (man benutze von letzteren junge noch durchsichtige Tiere) leicht auszuführen (Fröhlich[33]). Hunter[43]) brennt das Ganglion mit dem Galvanokauter aus, um Blutverlust zu vermeiden.

Die Salpen bieten ein großes Interesse für das Studium der rhythmischen Bewegungen und ihrer Ursachen. Der Rhythmus der Schwimm-Atembewegungen ist abhängig vom Ganglion. Die Bewegungen lassen sich registrieren durch Einführung einer Kanüle in die Ausströmungsöffnung. — Interessant sind auch die Steuerbewegungen und die Gleichgewichtserhaltung.

Material: Ascidien (hauptsächlich die große Cione intestinalis) das ganze Jahr in großen Massen. Salpen in verschiedenen Arten im Winter und Frühjahr häufig.

Literatur.

1) Apáthy, Orvos-természettudományi értesitö. Kolozsvár. 1897.
2) Beer, Pflügers Arch. Bd. 67. 1897. p. 541.
3) Bethe, Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 50. 1897. p. 460 u. 589.
4) Bethe, Pflügers Arch. Bd. 68. 1897. p. 449—545.
5) Bethe, Allgem. Anat. u. Physiol. des Nervensystems. Leipzig, 1903.
6) Biedermann, Sitzungsber. Akad. Wien. Bd. 93. III. 1886. p. 58.
7) Biedermann, Sitzber. Akademie Wien. Bd. 93. III. 1886. p. 91 und Bd. 95. III. 1887. p. 7.
8) Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 46. 1890. p. 399.
9) Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 102. 1904. p. 475.
10) Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 107. 1905. p. 1.
11) Bottazzi, Arch ital. Biologie. 28. 1897. p. 61.
12) Bottazzi, Rivista di scienze biol. Bd. 1. 1899.
13) Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs.
14) v. Brücke, Pflügers Arch. Bd. 108. 1905. p. 192.
15) Carlson, American. journ. of physiol. Bd. 12. 1904. p. 64.
16) Carlson, American journ. of physiol. Vol. 13. 1905. p. 351.
17) Carlson, Journ. of exper. Zool. Bd. 1. 1904. p. 270.
18) Carlson, Comparative physiology of the invertebrate Heart, Biological Bulletin Bd. 8. 1905. p. 125.

19) Clark, Journ. of physiology. Bd. 19. p. 330.
20) Cohnheim, Zeitschr. f. physiolog. Chemie, 33. 1901. p. 32.
21) Cohnheim, Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 33. 1901. p. 23.
22) Cohnheim, Zeitschr. f. physiol. Chemie. 35. 1902. p. 403.
23) Dubois, Anal. Univers. Lyon. Bd. 2. H. 1. 1892.
24) Eimer, Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 17 1880.
25) Enriques, Archivio zoologico. Bd. 1. 1903. p. 1.
26) Exner, Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten. Leipzig-Wien 1891.
27) Fredericq, Arch. de Zool. expérim. Bd. 7. 1878. p. 539.
28) Fredericq, Arch. zool. exper. 1884.
29) Fredericq, Arch. de Biol. T. 20. 1904. p. 709.
30) Fredericq, Arch. internat. d. Physiol. Vol. 2. 1905. p. 127.
31) Fredericq und Vandevelde, Arch. de Biologie. Bd. 1. 1880. p. 1.
32) Friedländer, Pflügers Arch. Bd. 58. 1894. p. 168.
33) Fröhlich, Pflügers Arch. Bd. 95. 1903. p. 609.
34) Fröhlich, Pflügers Arch. Bd. 102. 1904. 415.
35) Fröhlich, Pflügers Arch. 103.
36) v. Fürth, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 30. 1894. p. 187.
37) v. Fürth, Zeitschr. physiol. Chemie. Bd. 31. 1900. p. 361.
38) v. Fürth, Vergleichende chemische Physiologie der niederen Tiere. Jena 1903.
39) Fuchs, Pflügers Arch. Bd. 60. 1895. p. 173.
40) Fürst, Pflügers Arch. Bd. 46. 1890. p. 369.
41) Guiart, Memoires société zool. France. Bd. 14. 1901. p. 1.
42) Herbst, Arch. f. Entwicklungsmechanik. Bd. 5. 1897. p. 651.
42b) Hess, C., Pflügers Arch. Bd. 109. p. 393.
43) Hunter, Amer. journ. of physiol. Bd. 10. 1904. p. 1.
43b) Huxley, Der Krebs. Leipzig, 1881.
44) Hyde, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 35. 1897. p. 459.
45) Jenkins und Carlson, American. journ. of physiol. Bd. 8. 1903. p. 251 und Journ. comp. Neurol. Bd. 14. 1904. p. 85.
46) Jenkins und Carlson, Journ. of compar. Neurol. Bd. 13. 1903. p. 259.
47) Jordan, Zeitschr. f. Biol. Bd. 41. p. 196.
48) Jordan, Pflügers Arch. Bd. 106. 1905. p. 189 u. Bd. 121. 1908. p. 221.
49) Krause, Zentralbl. f. Physiol. 1895. p. 273.
50) Kreidl, Sitzber. Akad. Wien. 102. III. 1893. p. 149.
51) Künkel, Verhand. deutsch. zoolog. Gesell. 1900. p. 22—31.
52) Künkel, Zool. Anz. 1903. p. 560.
53) Lang, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere. Jena 1894. (2. Auflage zum Teil erschienen.)
54) Loeb, Untersuchungen zur physiol. Morphologie der Tiere. Würzburg 1891.
55) Loeb, Pflügers Archiv. Bd 56. 1894. p. 247.
56) Loeb, Pflügers Arch. 59. 1895. p. 415.
57) Loeb, Americ. journ. of physiol. 3. 1900. 383.
58) Loeb, University of California publications, Physiology. Bd. 1. 1903.
59) Lo Bianco, Mitteil. d. zoolog. Station. Neapel. Bd. 13. 1899. p. 448—573.
60) Magnus, Pflügers Arch. Bd. 92. 1902. p. 623.
61) Magnus, Pflügers Arch. Bd. 92. 1902. p. 640.
62) Magnus, Arch. f. experm. Pathol. und Pharm. Bd. 50. 1903. p. 86.
63) Maxwell, Pflügers Arch. Bd. 67. 1897. p. 263.
64) Mayer, Rhythmical pulsation in Scyphomedusae. Carnegie institution publ. No. 47. Washington 1906.
65) Nagel, Bibliotheca zoologica, H. 18.
66) Nagel, Pflügers Arch. 57. 1897. p. 495.
67) Parker, Bull. Museum comp. Zool. at Harvard. 29. 1896. p. 107.
68) Parker, Amer. journ. of physiol. 13. 1905. p. 1.
69) Pawlow, Pflügers Arch. Bd. 37. 1885. p. 6—31.

70) Plateau, Arch. de Biolog. Bd. 1880. p. 565.
71) Prentiss, Bullet. Mus. comp. zool. Harvard. Bd. 36. 1901. p. 239.
72) Ransom, Journ. of physiol. Bd. 5. 1885. p. 261.
73) Romanes, Jelly Fish, Star-Fish and Sea-Urchins. London 1885.
74) Romanes, Philosoph. Transact. Bd. 166. 1876. p. 269 u. Bd. 167. 1877. p. 659.
75) Schoenlein, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1882. p. 369.
76) Schoenlein, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 30. p. 187.
77) Schultze, Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 35. 1901. p. 221.
78) Steiner, Die Funktionen des Nervensystems und ihre Phylogenese. II. Braunschweig 1888. p. 17.
79) Straub, Pflügers Arch. Bd. 79. 1900. p. 379.
80) Straub, Pflügers Arch. Bd. 103. 1904. p. 429.
81) Straub, Archivio di Fisiologia. Bd. 1. 1903. p. 53.
82) Straub, Mitteil. zool. Station zu Neapel. Bd. 16. 1903. p. 456.
83) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 28. 1891. p. 550.
84) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 30. 1894. p. 317.
85) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 31. p. 584.
86) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 34. p. 321.
87) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 46. p. 1—37.
88) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 34. p. 298 u. 319; Bd. 37. p. 334; Bd. 39. p. 73; Bd. 40. p. 447.
89) v. Uexküll, Mitteil. zool. Stat. Neapel. 14. 1901. 620.
90) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 46. p. 378.
91) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 44. p. 273.
92) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 33. 1896. p. 11.
93) v. Uexküll, Leitfaden in das Studium der experimentellen Biologie der Wassertiere. 1905.
94) Vayssière, Atlas d'anatomie comparée des Invertébrés. Paris 1890.
95) Verworn, Pflügers Arch. 50. 1891. p. 423.
96) Vogt, C. und Yung, E.: Lehrbuch der praktischen vergleichenden Anatomie. Braunschweig 1888.
97) Willem und Minne, Mémoires cour. Acad. royale de Belgique. Bd. 57. 1899.
98) Yerkes, Americ. journ. of physiol. Vol. 6. u. 7. 1902.
99) Zoja, Rendiconti R. Istituto Lombardo, Ser. II. Vol. 24. 1891.

III.

Die Anwendung der physikalisch-chemischen Methoden in der Physiologie

von

Leon Asher in Bern.

(Mit 42 Figuren.)

Teil I. Das Aufsammeln der Körperflüssigkeiten.

1. Allgemeines.

Die Mehrzahl der in der Physiologie angewandten Methoden der physikalischen Chemie sind solche, welche zu Untersuchungen an Flüssigkeiten dienen. Die erste Aufgabe besteht daher in dem geeigneten Aufsammeln der einzelnen Körperflüssigkeiten. Dieselbe soll so geschehen, daß möglichst eine Veränderung ihres natürlichen Zustandes vermieden wird. Am einfachsten liegen die Verhältnisse bei den verschiedenen Sekreten. Die operativen Methoden zu deren Gewinnung gehören meist in das Gebiet der „physiologischen Chirurgie" und werden daher in einem anderen Abschnitte dieses Werkes besprochen. Die nicht operativen Methoden bedürfen an dieser Stelle auch keiner Beschreibung. Das Aufsammeln der operativ oder nicht operativ gewonnenen Sekrete, Exkrete und Transsudate des Körpers geschieht entweder in graduierten Zylindern und Meßkölbchen oder in abgewogenen Gefäßen. Für sehr viele Zwecke reicht man mit der gewöhnlich zu chemischen und physikalischen Untersuchungen erforderlichen Reinigung und Trocknung der Gefäße aus. Es kann aber der Fall eintreten, daß von vornherein die für besondere physikalische chemische Untersuchungen nötige Vorbereitung der Gefäße ratsam ist, z. B. wenn Bestimmungen der elektrischen Leitfähigkeit oder der Reaktionsgeschwindigkeit beabsichtigt werden.

Reinigung der Gefäße: Zuerst werden die Gefäße mit einer warmen oder auch heißen (je nach der Glasdicke) Lösung von Kaliumbichromat in konzentrierter Schwefelsäure ausgespült, sodann mit fettfreiem destillierten Wasser. Hierauf werden die Gefäße nach dem Verfahren von Abegg ausgedämpft (Fig. 1).

Ein mit Wasser gefüllter Kochkolben wird mit einem durchbohrten Stopfen verschlossen, durch welchen ein größerer Trichter durchgesteckt wird. In den Stiel des Trichters wird ein Stück Kautschukrohr eingesetzt, welches dazu dient, ein längeres Glasrohr festzuhalten. Das Glasrohr rage

über den Trichter hinaus und münde in dem Hals des Kochkolbens. Auf das obere Ende des Glasrohres wird der auszudämpfende Kolben aufgestülpt. Das Wasser im Kochkolben wird stark gekocht, der Dampfstrahl entweicht durch die Glasröhre und entfernt das lösliche Alkali des Kölbchens. Bei Messungen, welche größte Genauigkeit erfordern, verschließt man die Gefäße nicht mit Kork oder Kautschuk, sondern mit Glasstöpsel oder mit einem umgestülpten Glas.

Bei dem Aufsammeln von Sekreten aus operativ angelegten Fisteln ist darauf zu achten, daß nicht eine Verunreinigung durch Blut hinzukommt. Bei gewissen Fisteln kann im Verlaufe der Entnahme der ausfließenden Flüssigkeit spontan Blut der letzteren sich beimengen. Beispielsweise geschieht dies häufig beim Auffangen von Harn aus dem Ureter des Kaninchens und bei Lymphfisteln am Hunde. Ist man in der Wahl des Versuchstieres daher nicht durch äußere oder innere Rücksichten auf ein bestimmtes Tier angewiesen, so wird für gewisse physikalisch-chemische Messungen des Harns aus Ureterenfisteln der Hund als Versuchstier vorzuziehen sein. Im übrigen gelte als Regel bei Blutbeimengung zu physiologischen Sekreten und anderen Körperflüssigkeiten, die sonst blutfrei sind, lieber auf Untersuchungen wie diejenige der Gefrierpunktserniedrigung, der Leitfähigkeit und der Refraktion zu verzichten.

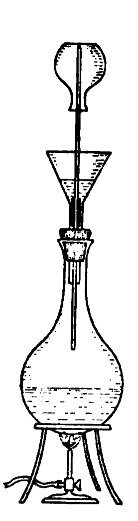


Fig. 1.

Bei Untersuchungen, die den Magen und den Darm betreffen, muß, genau wie bei anderen physiologischen Untersuchungen, scharf unterschieden werden zwischen Magen und Darminhalt einerseits und den einzelnen reinen Verdauungssäften andrerseits. Es muß in dieser Hinsicht auf die Methoden der physiologischen Chirurgie verwiesen werden.

Behufs Untersuchung des Schweißes zu physikalisch-chemischen Zwecken wird für gewöhnlich nur die Katze oder der Mensch in Betracht kommen, eventuell das Pferd. Bei der Katze erhält man aus dem vorher gut gereinigten Fußballen entweder durch Reizung des Nervus ischiadicus oder durch Pilokarpin Tropfen von Schweiß, die in einem Glasschälchen aufgefangen werden können. Das Aufsammeln menschlichen Schweißes gehört den Methoden des Stoffwechsels an.

Das Sammeln der Milch zu physikalisch-chemischen Untersuchungen erfordert einige Vorsicht. Für die physikalisch-chemische Beschaffenheit der Milch ist die Art und die Zeit des Melkens nicht gleichgültig. Daher muß die etwa von Kühen oder Ziegen stammende Milch entweder von sehr zuverlässiger Seite bezogen werden, oder der Untersucher muß selbst beim Melken zugegen sein. Ferner bestehen Unterschiede zwischen Vollmilch und Magermilch.

Die in der Norm nur in geringen Mengen vorkommenden Flüssigkeiten der verschiedenen serösen Höhlen werden durch Punktion mit zweckentsprechenden Spritzen in Art der Pravazschen Spritze gewonnen. Der in der Physiologie häufigere Fall ist der, daß Flüssigkeiten, welche experimentell in seröse Höhlen eingebracht wurden, wieder aus denselben entfernt werden sollen; es kommen hierbei wesentlich die Pleural-, die Peritoneal- und die Perikardialhöhle in Betracht.

2. Entfernung experimentell eingebrachter Flüssigkeiten aus serösen Höhlen.

Handelt es sich nur um die Ermittlung von Konzentrationsveränderungen injizierter Flüssigkeiten, so bedarf es nur der Entleerung durch einen Troikar oder einen anderen kanüleartigen Instrument. Um Blutungen und Verletzungen von Eingeweiden, Lunge und Herz zu vermeiden, wird die vorsichtig eingeführte Spitze, nachdem man in die betreffende seröse Höhle gelangt ist, sofort zurückgezogen und nur das vorn gut abgerundete Troikarrohr in der Höhle belassen. Man kann sich auch der in der Chirurgie gebrauchten Aspiratoren von Dieulafoy oder Potain bedienen; doch bieten diese kostspieligen Apparate keine besonderen Vorteile gegenüber dem, was sich durch geeignete Lagerung des Tieres erzielen läßt.

Für Ermittlung der absoluten Mengen, etwa der Menge resorbierter Flüssigkeiten, ist jede Art Entleerungsmethode durch Ablassen vermittelst Kanülen ungenügend. Es stehen hierzu zwei andere Methoden zu Gebote. Bei der ersten wird das Tier getötet und die betreffende seröse Höhle breit eröffnet. Man stülpt dann das Tier über einen sehr breiten Trichter, durch den die Flüssigkeit in ein Meßgefäß ablaufen kann. Bei der Entleerung der Bauchhöhle müssen sorgsam die einzelnen Schlingen der Eingeweide voneinander abgehoben, auch die Leber und der Magen verschoben werden, damit nirgends etwas Flüssigkeit abgesackt bleibt, was sonst leicht vorkommt. Handelt es sich um die absolute Menge einer aufgelösten Substanz, so läßt sich dieselbe ziemlich genau durch Abspritzen der im Trichter hängenden Eingeweide mit Wasser oder einer indifferenten Flüssigkeit gewinnen. Diese Methode gestattet nur einen Versuch an je einem Versuchstier, ist aber zu empfehlen, wenn möglichst normale Verhältnisse der serösen Höhlen gewünscht werden. Eine andere Methode ist von Roth angegeben worden. Zunächst wird aus der Bauchhöhle die unmittelbar erreichbare Flüssigkeit (I) abgelassen. Dann wird eine als Waschwasser dienende isotonische Kochsalz-, Traubenzucker- oder Natriumsulfatlösung in bekannter Menge körperwarm in die Bauchhöhle infundiert. Der Unterleib des Tieres wird, um vollständige Durchmischung zu erreichen, kräftig geschüttelt und die Flüssigkeit darauf sofort abgelassen (II). Wenn die Menge der zur Auswaschung dienenden Lösung = M ist, die Konzentration von Portion I am ursprünglichen Lösungsbestandteil = U_1 Proz., die Konzentration von Portion II an demselben = U_2 Proz. ist, so ist der nach der ersten Ablassung in der Bauchhöhle gebliebene Rückstand:

$$R = \frac{M \times U_2 \text{ Proz.}}{U_1 - U_2 \text{ Proz.}}$$

Dieses Ergebnis kann man auf zweierlei Art kontrollieren, erstens durch eine ähnliche Berechnung auf Grund des Kochsalzgehaltes von Portion I und II, zweitens dadurch, daß auf das Experiment sofort die Tötung des Tieres folgt und das noch in der Bauchhöhle vorhandene Flüssigkeitsvolumen möglichst genau bestimmt wird (III). Es muß dann sein

$$II + III = M + R.$$

Die Methode gibt bis auf 2 cmm genaue Resultate. Bei beiden Methoden ist es ratsam, nach einem von Hamburger gemachten Vorschlag, vor Be-

ginn des Versuches eine kleine Quantität isotonischer Kochsalzlösung in die seröse Höhle zu injizieren. Da diese für gewöhnlich leer sind, würde, ohne vorherige Befeuchtung der betreffenden serösen Höhle, bei der Entleerung eine gewisse Menge haften bleiben und, als resorbiert, falsch in Rechnung gebracht werden.

3. Aufsammeln von Blut zu physikalisch-chemischen Untersuchungen.

Das Gewinnen von Blut aus den Gefäßen der gebräuchlichen physiologischen Versuchstiere geschieht vermittelst in die Gefäße eingebundener Kanülen. Auf die mehr chirurgische Seite der Methodik, sowie auf die Gewinnungsart von Blut von Fischen und Wirbellosen wird hier nicht eingegangen. Da das Blut einzelner Gefäßprovinzen eine verschiedene physikalisch-chemische Zusammensetzung besitzt, und da ferner aus Gründen des Versuchsproblemes Blut aus verschiedenen Gefäßen benötigt wird, ist der Ort der Blutentnahme zu berücksichtigen. Bei größeren Säugetieren kann für arterielles Blut eine beliebige Arterie, auch eine Eingeweidearterie, eingebunden werden; das gleiche gilt für die Venen des Halses, der Extremitäten und die Vena mesenterica oder lienalis.

Zur Gewinnung von Blut aus dem rechten Vorhof, der Vena hepatica und der Vena cava inferior dient ein zuerst von v. Lesser angegebenes Verfahren. Es wird von der Vena jugularis aus entweder ein Metall- oder ein elastischer Katheter bis zu der gewünschten Stelle vorgeschoben. Blut der Vena cava inferior kann man auch leicht dadurch gewinnen, daß man von der Vena femoralis aus einen elastischen Katheter in die Vena cava inferior vorschiebt.

Bei mehrfacher Blutentnahme aus einer Arterie hat man nur darauf bedacht zu sein, sorgfältig jedes Mal die Kanüle zu reinigen und ein etwaiges Gerinnsel im Anfang des Gefäßes zu beseitigen. Hingegen wirkt, wie v. Lesser nachwies, das Einbinden einer Kanüle in die Arterie nicht im Sinne einer Stauung. Anders bei den Venen. Daher darf aus Venen eine mehrfache Blutentnahme nur dann stattfinden, wenn ein etwas stärkeres Ausbluten behufs Beseitigung der Stauung die Versuchsbedingungen nicht stört.

Es gibt Fälle, bei denen Blut völlig steril aufgefangen werden soll. Eine einfache Methode hierzu bietet die Anwendung eines Reagensglases. Am unteren Ende desselben wird eine feine Spitze ausgezogen und zunächst verschlossen. Das Reagensglas wird sterilisiert und mit einem Wattepropf verschlossen. Unter aseptischen Kautelen wird ein Gefäß freigelegt, die Spitze mit einem sterilen Instrument abgebrochen und in ein Gefäß eingestochen; hierdurch füllt sich das Reagensglas mit Blut.

Die beim Menschen gebräuchlichen Methoden zur Gewinnung von Blut werden an einer anderen Stelle dieses Werkes beschrieben. Dieselben sind nur zur Entnahme sehr kleiner Mengen bestimmt. Wie bei der Blutkörperchenzählung ist auch in Hinblick auf physikalisch-chemische Untersuchungen Stauung und Beimengung von Gewebsflüssigkeit möglichst zu vermeiden. Größere Mengen venösen Blutes kann man aus einer Armvene entnehmen. Man umwickelt den Oberarm fest mit einer Esmarchschen Binde und sticht in eine hervorgewölbte Vene eine mit einem Schlauch armierte sterile Platiniridiumspitze ein, worauf man sofort die Binde wieder löst.

Teil II. Vorbereitende Operationen an Körperflüssigkeiten.

1. Aufhebung der Gerinnung. Gewinnung von Plasma und Serum.

Die Art und Weise, wie das Blut zur weiteren Untersuchung vorbereitet wird, ist auf dessen physikalisch-chemische Zusammensetzung von Einfluß. Zunächst die Art des Defibrinierens, wenn es sich um das Gesamtblut handelt. Hamburger hat gefunden, daß eine Defibrinierung unter Luftzutritt die Verteilung der Blutbestandteile auf Körperchen und Blutflüssigkeit, gegenüber der im lebenden Körper bestehenden, verändert. Man muß daher ohne Luftzutritt defibrinieren. Hierzu kann man nach Freund, bei Verwendung von Pferdeblut, das Blut in einer Flasche unter Öl auffangen; nach Hamburger genügt sogar eine sorgfältig gereinigte und getrocknete Flasche, wenn man zur vollkommenen Vermeidung von Schaum das Blut vermittelst eines dem Boden der Flasche sich nähernden Gummiröhrchens einfließen läßt. Für alle anderen Blutarten, deren Blutkörperchen sich nicht so rasch setzen, benutzt man eine dickwandige Flasche, auf deren Boden Glasscherben oder besser Glasperlen liegen, und schüttelt dieselbe nach Auffangen von Blut in verschlossenem Zustande.

Anstatt zu defibrinieren kann man auch anderweitig die Gerinnung des Blutes aufheben. Doch kommt für genaue physikalisch-chemische Untersuchungen nur ein einziges allgemein verwendbares Mittel in Betracht, nämlich das von Franz isolierte Hirudin, den wirksamen Bestandteil des medizinischen Blutegels. [Hirudin wird von der herstellenden Firma E. Sachße & Co., Leipzig, in verschlossenen Glasröhren à 1 g, 0,1 g und 0,01 g geliefert.] 1 Milligramm Hirudin hält 7,5 cm³ Kaninchenblut flüssig; für Menschenblut ist die Wertigkeit der Hirudins sogar noch größer. Der große Vorzug dieses Mittels besteht darin, daß es in minimalen Mengen und in Substanz angewandt werden kann, sowie vor allem darin, daß die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Blutes, mit den zur Verfügung stehenden Methoden geprüft, nicht nachweislich geändert werden. Dies gilt z. B. von der Gefrierpunktserniedrigung, der Leitfähigkeit und insbesondere auch von der Viskosität.

Gegenüber Hirudin haben andere gerinnungshemmende Mittel nur eine sehr beschränkte Anwendungsfähigkeit bei physikalisch-chemischen Untersuchungen. In Betracht kämen noch die von Arthus eingeführten Substanzen Ammoniumoxalat und Fluornatrium, deren gerinnungswidrige Wirkung auf der Kalkfällung beruhen. Vom Ammoniumoxalat dosiert man 1 Teil auf 1000 Teile Blut, vom Fluornatrium 3 Teile auf 1000 Teile Blut.

Die beiden genannten Substanzgruppen, Hirudin einerseits, Ammoniumoxalat und Fluornatrium andererseits, dienen auch dazu, Plasma zu gewinnen. Man zentrifugiert zu diesem Zwecke die mit den betreffenden Substanzen versetzten Blutsorten. Hirudin ist hierbei wiederum von großer Anwendbarkeit.

Nur für Pferdeblut gibt es eine Methode der Plasmagewinnung, frei von Zusätzen. Man fängt Pferdeblut in einem in Kältemischung stehenden Zylinder auf. Hält man den Zylinder einige Stunden auf 0 Grad, so setzt sich ein klares Plasma oben ab. Dasselbe kann zu physikalisch-chemischen Untersuchungen verwandt werden, in deren Verlauf das Plasma nicht erwärmt wird.

Serum wird am besten gewonnen durch ruhiges Stehenlassen von spontan gerinnendem Blute in einem verschlossenen Zylinder. Pferde, Kaninchen und Menschenblut geben das klarste Serum. Unter Luftabschluß definibriertes Blut (siehe oben) muß zentrifugiert werden. Eine möglichst rasch laufende Zentrifuge, z. B. die durch Elektromotoren betriebenen Zentrifuge von Fr. Runne (Heidelberg) ist zur Gewinnung eines in jeder Beziehung brauchbaren Serums Erfordernis. Behufs Gewinnung kleiner Mengen von Serum, welches möglichst vor Änderung geschützt und aseptisch sein soll, kann man sich mit Vorteil eines ähnlichen Verfahrens, wie schon oben beschrieben wurde, bedienen. Man zieht ein kleines sterilisiertes Rohr zu zwei spitzen Enden aus und schmilzt sie zu. Beim Gebrauch bricht man die beiden Enden auf und sticht das eine Ende in das zur Blutentnahme vorbereitete Gefäß. Nach der Füllung schmilzt man beide Enden wieder und

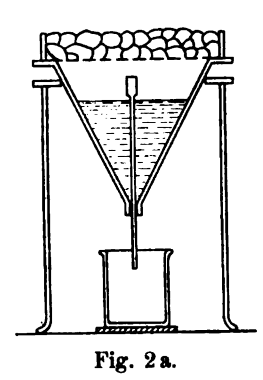


Fig. 2a.

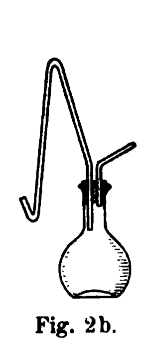


Fig. 2b.

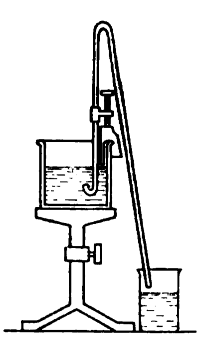


Fig. 2c.

hebt das Röhrchen in senkrechter Lage aut. Nachdem sich das Serum und der konsolidierte Blutkuchen getrennt haben, läßt man das klare Serum ablaufen.

Morochowetz empfiehlt die beiden folgenden Methoden zur Gewinnung von Blutserum. Das Blut wird in breite, niedrige Gefäße gesammelt, und das Coagulum nach der Gerinnung mit einem Messer in kleine Stücke zerschnitten, diese werden in ein Metallsieb gebracht, welches über einem entsprechenden Gefäße oder über einem Trichter angebracht ist. Die von den Coagulumstücken abfließende Flüssigkeit rinnt entweder in ein rundes (nach Dollfuß) oder in ein trichterförmiges (nach Rollett) Gefäß, durch welches bis zu der unteren Siebfläche ein Rohr geht, das am Boden des Gefäßes oder mittels eines Pfropfens in den verengerten Teil des Trichters angebracht ist, wobei das Rohr jedoch lose genug befestigt ist, um heraufgezogen oder heruntergeschoben werden zu können, damit diese oder jene abgestandene Schicht des Serums, nachdem die Flüssigkeit von dem im Siebe befindlichen Koagulum abgeflossen ist, abgegossen werden könne. Um das aus dem Siebe fließende defibrinierte Blut aufzufangen, benutzt man einen großen Glastrichter, der auf einem Dreifuß steht, in welchem eine für den Trichter bestimmte runde Öffnung ist. Damit in das Ableitungsrohr kein Blut gelangen könne (Fig. 2a.), ist es während des Abfließens der Flüssigkeit aus dem Siebe die ganze Zeit verkorkt, obgleich dessen oberes Ende über

dem mutmaßlichen Niveau der Flüssigkeit, welche durch dasselbe abfließen soll, steht. Zum Abheben des Serums und der Flüssigkeiten überhaupt von den Niederschlägen bedient sich Morochowetz eines aus einem Glasrohr gefertigten Siphons, dessen eines Ende, dasjenige, welches in die Flüssigkeit taucht, nach oben gebogen ist, das andere, längere, dagegen fest in einem Pfropfen steckt, der einen Kolben verschließt, in welchem mittels eines anderen Rohres leicht ein negativer Druck hervorgebracht und der Siphon dadurch in Tätigkeit gesetzt werden kann (Fig. 2b). Damit der Siphon in die Lösung vorsichtig eingetaucht werden könne, ist eine Schraube an dem Apparate angebracht, welche sogar an den Wänden eines Glasgefäßes befestigt wird (Fig. 2c).

Die zweite Methode (1891), welche besonders dann empfohlen wird, wenn möglichst schnell und gut Blutserum erhalten werden soll, ist folgende: Man läßt das Blut in breite, flache, auf einem Wasserbade bei 40—45—50° stehende Gefäße einfließen. Bei ruhigem Stehen und 2—4 und mehrstündigem Erwärmen bei besagter Temperatur scheidet das Blut in 12—24 Stunden um den kompakten Blutkuchen herum ein von Blutkörperchen ganz freies und mittels Pipetten oder Siphone leicht abzutrennendes Serum aus. Auf diese Weise erhaltenes Serum braucht nicht mehr abzustehen und kann nach dem Filtrieren sogleich benutzt werden. Auf solche Art erhält man ein bei weitem reineres Serum als nach allen anderen Methoden, die Zentrifugalmethode nicht ausgenommen.

2. Trennung der kolloiden und nichtkolloiden Bestandteile seröser Flüssigkeiten.

A. Abscheidemethoden.

1. Methode von Rossi: Bei dem großen Unterschiede in den physikalisch-chemischen Eigenschaften der kolloiden und nichtkolloiden Bestandteile einer Lösung wäre es erwünscht, Methoden zu besitzen, welche eine quantitative Trennung der beiden Bestandteile herbeiführen, ohne eine andere Änderung in der Zusammensetzung der Flüssigkeit zu bewirken. Eine solche Methode wurde von Rossi ausgearbeitet. Zentrifugenröhren werden mit Serum gefüllt und in eine Gefriermischung gesetzt. Wenn das Serum festgefroren ist, werden die Röhren in die Zentrifuge gesetzt und eine Zeitlang energisch zentrifugiert. Während des Zentrifugierens taut das gefrorene Serum auf und es tritt eine Schichtung in eine obere kolloidarme und eine untere kolloidreiche Schicht ein. Die Röhren werden vorsichtig unter Vermeiden von Schütteln von neuem gefroren und wieder zentrifugiert. Der Prozeß des Frierens und des Zentrifugierens wird so lange fortgesetzt bis das ganze in der Lösung vorhandene Eiweiß oder Kolloid eine schmale untere Bodenschicht bildet, welche sich schon durch ihre Farbe von der wasserklaren oberen Schicht absetzt. Das in 80 cm³ Serum enthaltene Eiweiß läßt sich bis auf 3 cm³ Volumen am Boden zentrifugieren. Bei dem Auftauen scheidet sich beim Zentrifugieren nicht allein Kolloid und Nichtkolloid, sondern auch die spezifisch schweren Kristalloide senken sich von der Oberfläche in tiefere Lagen. Um nun in der kolloidfreien Flüssigkeit in allen Schichten die ursprüngliche Zusammensetzung an kristalloiden Be-

standteilen wieder herzustellen, läßt man in den hermetisch geschlossenen Röhren die Hydrodiffussion den Ausgleich bewerkstelligen; der Prozeß läßt sich in der Wärme des konstanten Wasserbades beschleunigen. So erhält man schließlich, ohne irgend welchen Zusatz oder Anwendung hoher Temperatur, den Bodensatz des konzentrierten Kolloids und die darüberstehende Salzlösung von ursprünglichem osmotischem Druck. Bei Anwendung dieser Methode auf Serum benutzt man am besten Blut von Tieren, die gehungert haben oder mit fettfreier Nahrung gefüttert worden sind. Die Methode läßt sich auch auf andere kolloide Lösungen anwenden.

Man kann sich dieser Methode auch bedienen, um die Kolloide salzfrei zu machen. Zu diesem Zwecke gießt man nach vollendeter Trennung die obere kolloidfreie Lösung ab und ersetzt sie durch destilliertes Wasser. Dann mischt man die Kolloide mit dem Wasser, friert von neuem und zentrifugiert. Der ganze Prozeß des Mischens, Frierens und Zentrifugierens wird so lange wiederholt, bis die obere Flüssigkeit salzfrei ist.

2. Methode von Michaelis und Rona: Eine Methode zur Entfernung von Kolloiden aus ihren Lösungen, insbesondere zur Enteiweißung von Blutserum haben Michaelis und Rona auf das Prinzip gegründet, daß bei einer Mischung von relativ wenig Eiweiß mit sehr viel Mastix beide durch Zusatz einer kleinen Menge eines mehrwertigen Metallsalzes ganz ausgefüllt werden. (Durch die Vermischung von wenig Eiweiß mit viel Mastix hat das Gemisch die physikalischen Eigenschaften des letzteren angenommen.) Es muß ein großer Überschuß von Mastix zugesetzt werden, damit dasselbe die total umhüllende Menge für das Eiweiß sei. Bei eiweißarmen Flüssigkeiten bis zu $^1/_2$ % Eiweiß wird mit Essigsäure angesäuert und so viel einer 20% alkoholischen Mastixlösung zugefügt, daß der Alkoholgehalt der ganzen Flüssigkeitsmenge 30% nicht übersteigt. Dann setzt man pro Liter Flüssigkeit 10—15 cm^3 gesättigter Kupferazetatlösung zu, worauf das Mastix mit dem Eiweiß in Flocken sich zu Boden setzt. Die überstehende eiweißfreie Flüssigkeit wird ganz klar und ist leicht filtrierbar. Das Kupfer läßt sich nachträglich durch H_2S völlig entfernen. Bei eiweißreichen Flüssigkeiten, z. B. bei Blutserum, verfährt man folgendermaßen: Ein Volumen unverdünntes Blutserum wird mit dem dreifachen Volumen absolutem Alkohol versetzt, dazu nach einigen Stunden (oder, wenn man den Niederschlag durch Filtrieren entfernt, sofort) 1 Volumen 50%iger Lösung von Mastix in absolutem Alkohol gegeben, dann mit Wasser verdünnt, bis der Alkoholgehalt der Gesamtflüssigkeit höchstens noch 30% beträgt. Hierauf folgt die eben beschriebene Behandlung mit Kupferazetat. Man filtriert die eiweißfreie Flüssigkeit nach einiger Zeit. Die Flüssigkeit enthält als Folge der Enteiweißungsmanipulation, die völlig bei Zimmertemperatur vor sich geht, außer Alkohol nur die geringe Menge des zugefügten Elektrolyten. Die Methode ist, wegen dieser Zusätze, nicht in der gleichen Weise anwendbar wie diejenige von Rossi. Sie ist aber sehr wertvoll bei der Untersuchung einer Reihe von physiologischen Prozessen, zu deren vollständiger Aufklärung nach der physikalisch-chemischen Seite hin auch die genaue Kenntnis der Zusammensetzung des wirklich eiweißfreien, sonst aber möglichst wenig veränderten Serums gehört.

An Stelle von Mastix kann nach Michaelis und Rona auch Kaolin verwandt werden. Blutserum wird mit 12—15 Teilen Wasser verdünnt und

mit so viel Essigsäure angesäuert, daß die anfänglich entstehende Trübung sich wieder aufhellt. Dann fügt man auf je 100 ccm Flüssigkeit 20 bis höchstens 25 g Kaolinpulver hinzu, und zwar in etwa 4—5 Portionen, jedesmal unter kräftigem Durchschütteln. Damit ist die ganze Enteiweißungsmethode beendet. Der Niederschlag wird am besten abgenutscht. Auch für Blut läßt sich die Kaolinmethode verwenden, indem man die Füllung fraktioniert bei mehrfacher Verdünnung vornimmt. Da der Vorgang irreversibel ist, hat dieses Verfahren kein Bedenken.

B. Trennung der Kolloide und Kristalloide durch Filtration.

Methode von Martin: Die Methode besteht darin, daß die Lösungen unter einem Druck von 40—50 Atm. durch eine Membran von Gelatine oder gelatinöser Kieselsäure filtriert wird. Die Membran wird einer Pasteur-Chamberlandkerze eingelagert.

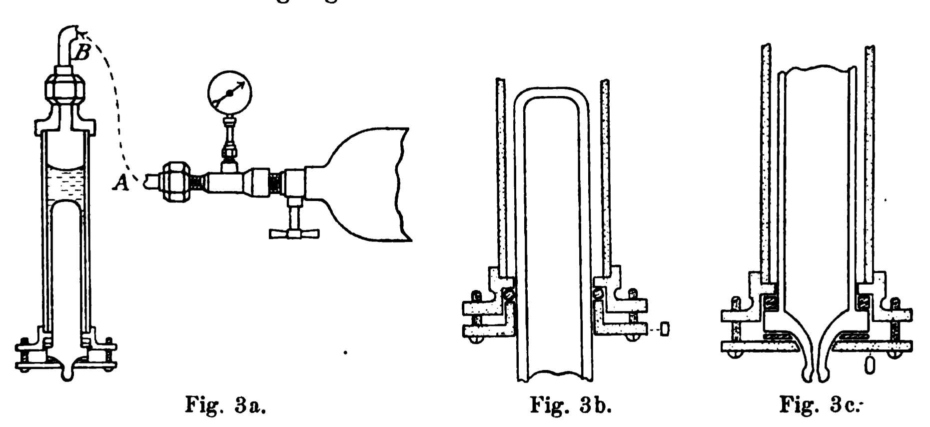


Fig. 3a. Fig. 3b. Fig. 3c.

Der ganze Apparat besteht 1. aus einem Stahlgaszylinder, welcher komprimierte Luft enthält, 2. aus einem T-Verbindungsstück, Kupferrohrverbindung und Druckmesser, 3. einem Filterbehälter aus innen verzinntem Kanonenmetall, 4. dem Pasteurfilter. Die ganze Anordnung ist aus der Figur 3a ersichtlich. Die Figur 3b gibt das hier nicht näher zu beschreibende Detail der Dichtung des Filterhalters. Fig. 3c zeigt die Einrichtung um auch abgebrochene Filterkerzen noch zu benutzen. Die Gelatinemembran wird aus 10 %iger Gelatinelösung bereitet. Der Filterbehälter wird mit der heißen Gelatinelösung gefüllt und mit dem Zylinder mit komprimierter Luft verbunden. Die Gelatine wird unter einem Druck von 10 Atm. filtriert. Im Verlaufe des Abkühlens sistiert die anfänglich rasche Filtration. Nach dem vollständigen Erkalten wird die herausgenommene Kerze von der außen anhaftenden Gelatine gereinigt. Die Kieselsäuremembran wird aus einer Lösung von Natriumsilicat von solcher Stärke bereitet, daß Zusatz von Salzsäure eine ziemlich steife Gallerte erzeugt. Diese Lösung wird unter einem Druck von 5 Atm. durch die Kerze filtriert und zwar einige Minuten lang. Darauf wird die Kerze herausgenommen, innen und außen gereinigt und mit 3% HCl gefüllt zwei Tage lang in ebensolche Säure eingetaucht erhalten. Die HCl diffundiert in die Poren und erzeugt dort einen gelatinösen Niederschlag von Kieselsäure.

Martin hat die Durchlässigkeit für eine Reihe von Stoffen geprüft. Es gingen absolut nicht durch von den Eiweißkörpern: Eiereiweiß, Serumalbumin, Eiglobulin, Serumglobulin, Fibrinogen, Kaseinogen, Nucleoalbumin, Hämoglobin, von den Kohlehydraten: Glykogen, lösliche Stärke, von den Farb-

stoffen: saures Hämatin, alkalisches Hämatin, Serumpigment, Eiweißpigment. In geringem Umfange gehen Azid- und Alkalialbuminat, Karamel, Biliverdin und Dextrin durch das Filter. Durchlässig ist dasselbe für Protoalbumose, Heteroalbumose, Deuteroalbumose, Urochrom und Kristalloide. Die Methode liefert aber, wie Waymouth Reid durch eine sorgfältige Kritik zeigte, hinsichtlich der Kristalloide keine quantitativ brauchbaren Resultate. Bei Filtration von Serum — dem wichtigsten Fall — ist das Filtrat durchaus nicht die ursprüngliche Flüssigkeit minus Eiweiß, sondern der Rückstand enthält noch eine Reihe von Substanzen. wie folgende Tabelle zeigt.

Beispiel: Filtration von Serum.

	gr. per Liter		
	Ursprüngl. Serum	Flüssigkeit im Filterbehälter	Filtrat
	Δ^0 — 0.570°C	Δ^0 — 0.595	Δ^0 — 0.525
Organische feste Bestandteile .	87.60	112.18	1.48
Eiweiß	82.54	103.99	0.00
Nicht Eiweiß org. Bestandteile .	5.06	8.19	0.78
Asche	9.42	10.20	8.85

Die Nichtberücksichtigung dieser Tatsachen hat zu Irrtümern in einigen für die Physiologie wichtigen physikalisch-chemischen Messungen geführt. Es ist ferner zu beachten, daß nicht allein jede einzelne in tierischen Flüssigkeiten vorkommende Substanz auf ihre quantitative Filtrierbarkeit geprüft werden muß, sondern auch, daß die Konzentration der Kolloidmembran und die allmähliche Imbibition derselben mit Substanz aus der zu filtrierenden Lösung von Einfluß ist. Bei Verwendung von nicht vollständig getrockneten Membranen wird das Filtrat auch durch Quellungswasser aus der Membran verdünnt.

Die Ultrafiltration von Bechhold.

Die Ultrafiltration von Bechhold dient dazu, kolloidal gelöste Stoffe von ihrem Lösungsmittel zu trennen und Mischungen von Kolloiden verschiedener Teilchengrößen voneinander gewissermaßen zu sieben. Als Filtermaterial benutzt man Gallerten (Kollodium, Eisessigkollodium, gehärtete Gelatine), bei denen durch Abänderung der Konzentration jede gewünschte Filterdichte und damit recht feine Abstufungen zu erreichen sind. Je nach der Filterdichte bedarf es eines Überdruckes von 0,2 bis 5 oder 6 Atmosphären. Fehlerquellen, die durch eine Voruntersuchung sich leicht ausschließen lassen, sind die Adsorption der zu filtrierenden Substanz selbst vom Filtermaterial und die Adsorption oder Entfernung durch Filtration eines Bestandteiles der Lösung, welcher für den Hydrosolzustand wesentlich ist.

Um der Gallerte einen Halt zu geben, empfiehlt es sich in den meisten Fällen, Gewebe, Filterpapier oder dgl. zu imprägnieren. Am praktischsten erweist sich starkes rauhes Filterpapier.

Die Filter werden im Vakuum mit Gallerte imprägniert. Man benutzt dazu den folgenden Apparat (Fig. 4a). Auf dem rechteckigen Glastrog T ist der Deckel D luftdicht aufgeschliffen. An der Querstange S sind eine Anzahl runder Filterscheiben F (ca. 12) aufgehängt. Der Deckel D hat zwei Tuben. Durch Tubus I gehen zwei Röhren; die eine führt nach der Luftpumpe L, die andere zum Vakuummeter V. Ist die Luft aus dem Trog entfernt, so läßt man durch den mit Hahn versehenen Trichter Tr, dessen

Rohr bis auf den Boden führt, die Gallertflüssigkeiten eintreten, bis sie die Filter bedeckt, schließt den Hahn zum Trichter und öffnet den Hahn, durch welchen ursprünglich die Luft ausgepumpt wurde; so wird die Gallertflüssigkeit unter Atmosphärendruck in die Filter gepreßt. Nach einiger Zeit nimmt man den Deckel ab, hebt die Stange mit den Filtern aus der Flüssigkeit und läßt abtropfen. Schließlich gelatiniert man, indem man rasch das ganze Filter in eine geeignete Flüssigkeit taucht; bei Eisessigkollodium genügt Wasser. Arbeitet man mit Gelatine, so muß der ganze Imprägniertrog in einem Bad mit lauem Wasser stehen. Die Härtung der Gelatinefilter erfolgt derart, daß man die an der Luft gelatinierten, noch feuchten Filter in eine mit Eis gekühlte, 2—4 prozentige Formaldehydlösung taucht und einige Tage im Eisschranke stehen läßt.

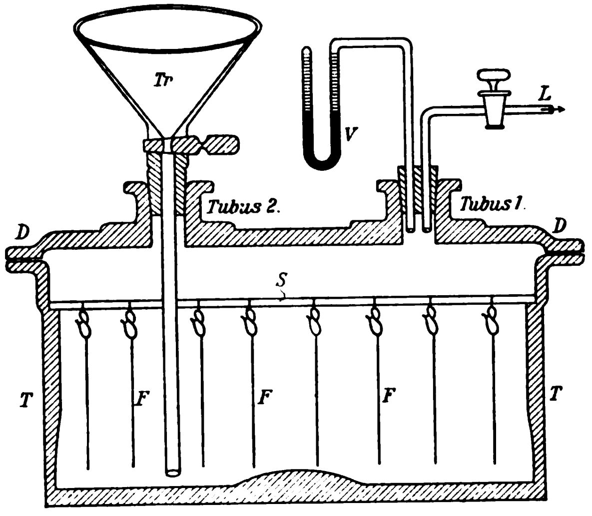


Fig. 4a.

Die Filter, auf welche Art sie immer gewonnen sein mögen, werden dann mehrere Tage in fließendem Wasser gewaschen und in Wasser aufgehoben, dem man etwas Chloroform zusetzt, um Schimmelbildung zu unterdrücken.

Das Wasser läßt sich in den Filtern sukzessive durch organische Flüssigkeiten (Alkohol, Aceton usw.) ersetzen, so daß die Filter auch zur Trennung von organischen Lösungsmitteln dienen können. Sie sind gegen Verletzungen empfindlicher als Wasserfilter. Die Filter werden in einen Apparat gespannt, den Fig 4b im Schnitt darstellt. Er ist aus Rotguß, stark vernickelt und besteht aus einem zylindrischen Gefäß H, in dem der eigentliche Trichter Tr aufsitzt. Zwischen die unteren Ausbuchtungen von Tr und H werden die runden flachen Filterscheiben Fi gepreßt. Die Dichtung erfolgt durch zwei Gummiringe GG. Zum Schutze gegen das Reißen des Filters liegt dasselbe auf einem ebenfalls flachen, runden Nickeldrahtnetz N auf und ist gegen zu starke Ausbuchtung bei Druck durch die mit mehreren großen Löchern durchsetzte Platte P geschützt. Der Trichter Tr ist oben konisch abgedreht und wird durch den Deckel D mit Konusverschluß und Gummidichtung abgeschlossen. Durch Andrehen des Schraubenverschlusses Schr wird sowohl der Deckel oben als auch der Filter unten mit einer Handbewegung dicht verschlossen. Durch den Deckel führt ein kleiner Ansatz mit Schraubenwindung, an dem das Rohr zur Druckpumpe (Schraubenverschluß mit

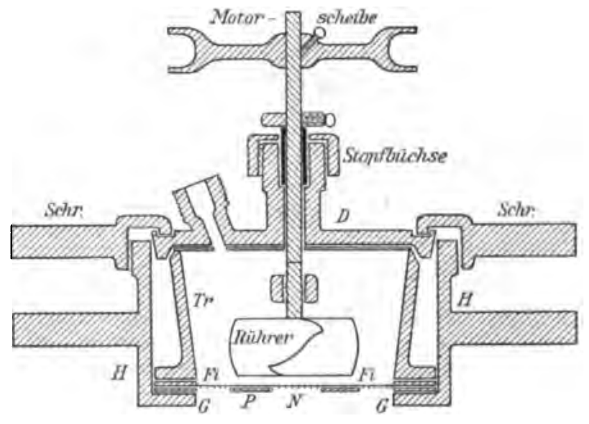


Fig. 4b.

Konus) befestigt wird. Dieser Apparat genügt für Drucke von 0,1—10 Atmosphären Überdruck.

Die hier wiedergegebene Abbildung zeigt eine besondere Modifikation des gewöhnlich benutzten Apparates. Während sonst der Deckel D glatt abschließt, befindet sich hier noch ein Rührer, der durch einen Elektromotor betätigt wird. Manche Kolloide scheiden sich leicht als Gallerte auf dem Filter ab (z. B. kolloidales Eisenoxyd, Kieselsäure, Albumin u. a.) und bilden selbst ein neues Filter, das oft dichter ist als das ursprüngliche, was, abgesehen von Täuschungen, eine große Erschwerung der Filtration zur Folge haben kann. In diesen Fällen hat sich der Rührer als sehr zweckmäßig erwiesen.

Als Standardlösung, um die Durchlässigkeit der Filter zu messen, dient eine 1prozentige Hämoglobinlösung. Der Durchmesser der größten Poren von Filtern, die Hämoglobinlösungen zurückbehalten, ist $< 20\,\mu\mu$. Verschiedene in derselben Lösung (z. B. Serum, Milch, Verdauungsgemischen) befindliche Kolloide lassen sich durch fraktionierte Filtration voneinander trennen. Bei geeigneter Filterdichte gibt die Filtration ein kolloidfreies Filtrat, das man sofort in einer konzentrierten Form erhält.

C. Anwendung der Dialyse.

Die Dialyse beruht auf dem Prinzipe, daß gewisse Stoffe durch kolloide Membrane, wie tierische Haut, vegetabilisches Pergament u. a. hindurchgehen, andere nicht. Graham unterschied nach dieser Eigenschaft Kristalloide und Kolloide. Seit dieser von Graham gemachten Unterscheidung dienen Pergament-Membranen, in verschiedener Form angewandt, zur Trennung von Kolloiden und Kristalloiden. Die Dialyse geschieht entweder gegen Leitungswasser oder gegen destilliertes Wasser, in besonderen Fällen gegen andere Flüssigkeiten. Die Geschwindigkeit der Dialyse hängt ab von der Größe der Membranoberfläche, von der Erneuerung der äußeren Flüssigkeit, von der Temperatur und davon, ob die zu dialysierende Flüssigkeit bewegt wird oder nicht.

Das in den zunächst zu beschreibenden Dialysatoren allgemein verwandte Pergament muß vor dem Gebrauch geprüft werden, besonders die Pergamentschläuche bedürfen einer sorgfältigen Revision. Gröbere Fehler werden entdeckt, indem man dieselben bei durchfallendem hellen Licht (Fenster oder künstliches Licht) eventuell mit der Lupe durchmustert. Genauer wird die Prüfung durch Füllung mit Wasser, oder noch besser mit Blut; man sieht dann die durchperlenden Tröpfchen. Schlauchförmige Dialysatoren kann man unter Wasser stark aufblasen. Steigen dabei keine Luftblasen auf, so ist der Schlauch dicht.

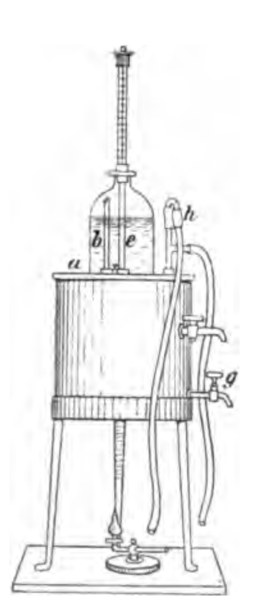
Dialysator von Graham.

Die älteste, auch heute noch brauchbare Form des Dialysators stammt von Graham. Derselbe besteht aus einem Reifen aus Guttapercha, welcher mit Pergamentpapier überzogen wird. Das Pergamentpapier wird im angefeuchteten Zustand nicht allzu straff um den äußeren Rand des Ringes mit gewachstem Bindfaden befestigt; es kann auch durch einen zweiten, etwas höheren eng anschließenden Reifen an den inneren Reifen angepreßt werden. Der mit der zu dialysierenden Flüssigkeit gefüllte Reifen wird in eine möglichst große Schale, welche Wasser enthält, versenkt. Das Niveau im Außen- und Innengefäß soll gleich hoch sein. Die Außenflüssigkeit muß häufig gewechselt werden.

Dialysator von Kronecker.

Ein Dialysator, in dem die dialysierende Flüssigkeit fortwährend mit sich erneuernder äußerer Flüssigkeit umspült wird und die Dialyse in der Wärme gestattet, ist von Kronecker konstruiert worden.

Ein zylindrischer Blechbehälter i von 18 cm Höhe, 20 cm Durchmesser, ist mit Wasser gefüllt, dessen Temperatur durch einen Wärmeregulator h konstant erhalten werden kann. Ein Messinghahn g erleichtert die Entleerung des Topfes. Der Deckel hat zwei Öffnungen. In der zentralen, von etwa 9,5 cm Durchmesser, hängt ein tubuliertes Glas e (Fig. 5b) von 10 cm Höhe und 9 cm Lumen, mittelst des auf 10 cm Weite ausgebogenen Randes festgehalten. Durch das andere enge Loch reicht das Quecksilbergefäß des Regulators in das Wasserbad.



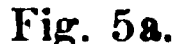


Fig. 5a.

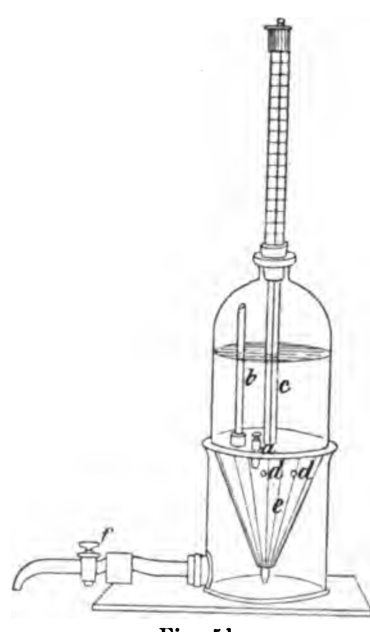


Fig. 5b.

Das Ausflußrohr mit dem Glashahne f ist im Tubulus des Glases befestigt, und durchsetzt, mit Hilfe eines Korkes wasserdicht die Hülle des Verdauungsofens bei f. (Fig. 5a.) In dem Glase hängt ein spitzwinkliger Trichter, dessen Ausflußröhre abgeschnitten und dessen Wand 2 cm unter dem oberen Rande von einer Anzahl pfenniggroßer Löcher (d, d) durchbohrt ist. In dem Trichter liegt lose ein Faltenfilter von Pergamentpapier, welches bis zum Rande reicht; die Falten sollen nicht bis zur Spitze laufen, um Brüche zu vermeiden; das Papier ist zuvor anzufeuchten, der obere Filterrand aber trocken zu lassen, damit die innere Flüssigkeit nicht nach außen übersteigt. Auf das Glas ist eine Mariottesche Flasche gepaßt, deren Boden drei Löcher enthält, eins im Mittelpunkte und zwei nahe der Peripherie. Durch das eine der Randlöcher ist ein 0,5 cm weites Glasröhrchen a wasserdicht gesteckt, so daß es 2 cm lang in den Trichter zwischen Glaswand und Pergamentfilter hineinragt. Im Röhrchen ist ein ausgezogenes Glasstäbchen als konisches Ventil beweglich. Das spitze Ende desselben ragt unten etwas über das Röhrchen hinaus, so daß es von der Wand des Trichters gehoben wird, sobald man die Flasche auf das Diffusionsglas stellt. Ein Steigrohr b stopft das zweite Randloch und endigt mit schräg abgeschnittener Mündung etwa 2 cm

unter dem Fläschenboden. Ist also die Flasche mit Flüssigkeit gefüllt und auf den Diffusionstrichter gesetzt, in der Art, daß Steigrohr wie Ventilröhrchen außerhalb des Filters bleibt, so rinnt der Inhalt so lange in Trichter und Glas, bis die Steigrohrmündung durch das Flüssigkeitsniveau gesperrt wird. Dann wird durch den Druck der äußeren Luft, welche sich mit der im Flaschenraume enthaltenen nicht ausgleichen kann, die Flüssigkeit verhindert durch das Ventilröhrchen auszutreten, bis das Niveau, durch irgendeinen Umstand zum Sinken gebracht, Luftblasen durch das Steigrohr dringen läßt. So wird der Flüssigkeitsspiegel unter dem Trichterrande an der Löcherreihe konstant erhalten. Durch diese Löcher wird der Austausch der Flüssigkeit innerhalb und außerhalb des Trichters im Glase begünstigt. Während der Diffusion findet eine lebhafte Zirkulation statt, indem die Flüssigkeit innerhalb des Trichters wegen der aufgenommenen Peptone schwerer als die außerhalb befindliche durch die untere Trichtermündung herabfällt und dünnere Lösung durch die Löcherreihe eintreten läßt.

Eine ähnliche, etwas einfachere Vorrichtung wurde später von Wolffhügel konstruiert.

Der Dialysator Huizingas hat nur noch historisches Interesse.

Dialysator von Kühne.

Der am häufigsten angewandte Dialysator ist derjenige von Kühne.

Er besteht aus einem Glaszylinder (Größe nach Bedürfnis), in welchem ein Pergamentschlauch angehängt wird (Fig. 6). Die Pergamentschläuche bezieht man am besten von der Firma Desaga & Co., Heidelberg. Leitungswasser läuft durch ein bis an den Boden reichendes Rohr in den Zylinder ein und oben durch ein seitliches Rohr wieder ab. Die Dialyse wird befördert, wenn man die Schläuche an einem Halter aufhängt, welcher dauernd durch einen Motor in Bewegung erhalten wird. Die leisen Abwärts- und Aufwärtsbewegungen bringen immer neue Teile der Innenflüssigkeit an die Wand heran. Man beendigt die Dialyse, welche 24 und 2 bis 3×24 Stunden dauern kann, damit, daß man mehrfach gegen destilliertes Wasser dialysiert.

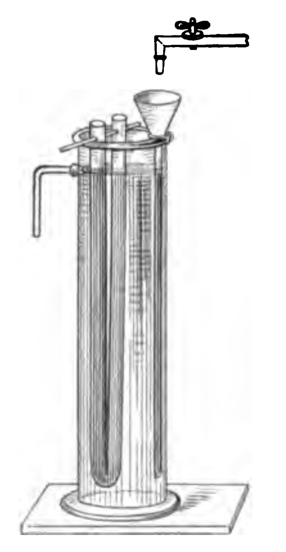


Fig. 6.

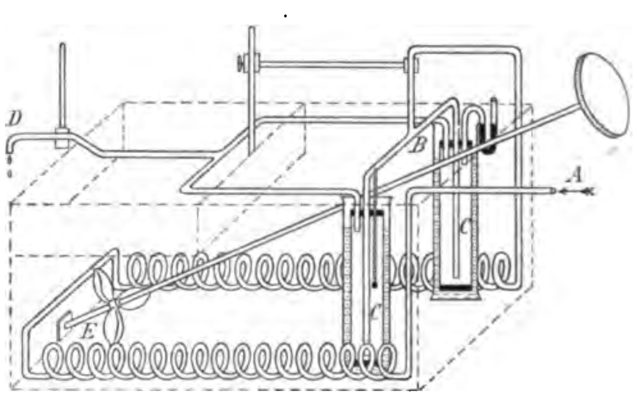


Fig. 7.

Diffusionsapparat von Waymouth Reid.

Ein kupferner Kessel, 20 Liter Wasser enthaltend, (Fig. 7) wird durch einen großen Bunsenbrenner gewärmt und durch einen kleinen von einem Motor getriebenen Schraubenrührer gerührt. Der Bunsenbrenner befindet sich dicht unter der Schraube, wodurch die Konstanterhaltung der Temperatur erleichtert wird. Eine Rolle von engem Kupferrohr liegt

im Bad und erhält am einen Ende (A) Wasser von der Wasserleitung, während das andere Ende zwei Dialysierzylinder speist. Der Wasserstrom wird in den Kupferrohrwindungen erwärmt, durch ein T Rohr (B) von oben bis auf den Boden der beiden Zylinder (C C) geleitet und fließt oben ab. Durch das Rohr (D), welches verstellbar angebracht ist, fließt das Wasser nach außen. Die Kühneschen Schlauchdialysatoren hängen wasserdicht mit Kautschukstopfen verschlossen in den Zylindern. Diese selbst sind gleichfalls mit dreifach durchbohrten Stopfen verschlossen. Durch je zwei gehen die schon genannten Röhren, in je einem dritten steckt ein Thermometer auf der einen Seite, auf der anderen ein Manometer. Dieser Apparat gestattet, Temperatur, Druck und Flüssigkeitswechsel zu variieren, insbesondere auch Bedingungen ähnlich wie im Körper, z. B. bei der Darmresorption, herzustellen; ferner kann man gleichzeitig die Diffusionsgeschwindigkeit zweier Substanzen vergleichen. Bei solchen Vergleichen kann vorher die Dicke des Pergamentpapieres mit Hilfe eines Zeissschen Messers für Deckgläschendicke bestimmt werden. Noch zuverlässiger ist die vorherige Prüfung der gleichen Permeabilität zweier Membranen durch Anstellung von Diffusionsexperimenten mit Traubenzucker.

Dialysierapparat von Siegfried.

Der Dialysierapparat besitzt drei Glasgefäße, von denen die beiden (Fig. 8, folg. Seite) äußeren die Form eines größeren Handexsikkators, das mittelste die eines Ringes haben. Zwischen diesen mit angeschmolzenen und abgeschliffenen Krämpen versehenen Gefäßen werden zwei Scheiben von Pergamentpapier, durch Gummiringe gedichtet, mittels federnder, an den Krämpen anliegender, durch vier Schrauben zusammengepreßter Messingringe wasserdicht befestigt. Durch diese Pergamentpapierscheiben wird der Inhalt des Glasringes, welcher zur Aufnahme der zu dialysierenden Flüssigkeit dient, abgegrenzt. Die beiden äußeren Gefäße tragen je einen seitlichen und einen oberen Tubus. Die seitlichen Tuben kommunizieren durch rechtwinklig gebogene, mittels eines kurzen Stückes Gummischlauches verbundene Glasröhren. Das mittlere Gefäß besitzt oben einen geräumigen Tubus, durch den ein Rührer eingeführt ist. Dieser Rührer wird durch eine Wasserturbine, die an demselben Gestell, auf dem der Apparat montiert ist, bewegt. Mit Hilfe eines auf den oberen Tubus des in der Figur 8 rechts gelegenen Gefäßen aufgesetzten T-Rohres wird das aus der Turbine ausfließende Wasser in den Apparat geleitet, während der Überfluß durch das nach unten gebogene Ende des T-Rohres nach außen tritt. Das durch das rechte Gefäß einfließende Wasser drängt das Wasser aus diesem Gefäß durch die Verbindungsröhren in das linke seitliche Gefäß, aus dem es durch den oberen Tubus mittels einer kurz abgeschnittenen Glasröhre nach außen fließt. Bei diesem Apparate werden die Undichtigkeiten, wie sie beim Knicken von Pergamentschläuchen vorkommen, vermieden. Die zu dialysierende Flüssigkeit läßt sich während der Dialyse unausgesetzt beobachten und wird durch den Rührer fortwährend gemischt, so daß die Diffusion innerhalb der Flüssigkeit eliminiert wird.

Dialysierapparat von Gürber.

Der Apparat von Gürber setzt sich zusammen aus einem großen Kochkolben, in dem destilliertes Wasser verdampft wird, einem Kühler, in welchem der Wasserdampf kondensiert wird und dem Dialysierzylinder mit Pergamentschlauch. Das aus dem Kühler kommende Wasser gelangt in den Dialysierzylinder und fließt von diesem wieder in die Kochflasche, welche mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstopfen verschlossen ist, wieder ab. Der Dialysierschlauch wird durch ein Rührwerk auf und ab bewegt. Der das Rührwerk bewegende kleine Wassermotor wird von Leitungswasser gespeist, welches durch den Mantelraum des Kühlers abläuft. Man kann also mit diesem Apparate einen kontinuierlichen Wechsel mit stets dem gleichen destillierten Wasser vornehmen. Die Vorrichtung arbeitet schnell und ist besonders auch geeignet zur Untersuchung der Außenflüssigkeit.

Anderweitige Dialysiervorrichtungen. Neuerdings liefert die Firma Schleicher & Schüll Diffusionshülsen in zwei Formaten, 100×16 mm und 100×70 mm, welche sich vor den Schläuchen durch Fehlen der Naht und größere Dauerhaftigkeit auszeichnen. Der allgemeinen Anwendung dieser vorzüglich arbeitenden Hülsen stehen bis jetzt ihre noch kleinen Dimensionen und der relativ hohe Preis entgegen.

Ein wichtiger Ersatz der Pergamentschläuche sind in gewissen Fällen Schilfschläuche, die von Metschnikoff zunächst in die bakteriologische Methodik eingeführt wurden. Sie werden nach Podbelsky und Conradi auf folgende Weise hergestellt: Möglichst dicke Schilfrohre werden in ihre Segmente geteilt und diese eine Stunde in kochendes Wasser gelegt. An einem Segmentende wird hierauf durch sorgfältiges Abschneiden eine Strecke der innersten Membran freigelegt und der kleine Membranzylinder mit einem Seidenfaden zugebunden. Dieses zugebundene Ende wird auf einem abgerundeten Glasstab durch das ganze Segment hindurchgeschoben. Die Membran lößt sich dabei von der Schilfwand und befindet sich schließlich in ganzer Ausdehnung auf dem Glasstab. Man kann so Schläuche von 15 cm Länge und 8 bis 10 cm^3 Fassungsraum erhalten. Beim Diffusionsversuch werden die Schläuche über das mit einer Rolle versehene Ende eines Glasröhrchens gezogen und fest an dasselbe gebunden. Über die Glasröhre wird ein Kork geschoben und der mit der zu untersuchenden Lösung gefüllte Schlauch wird

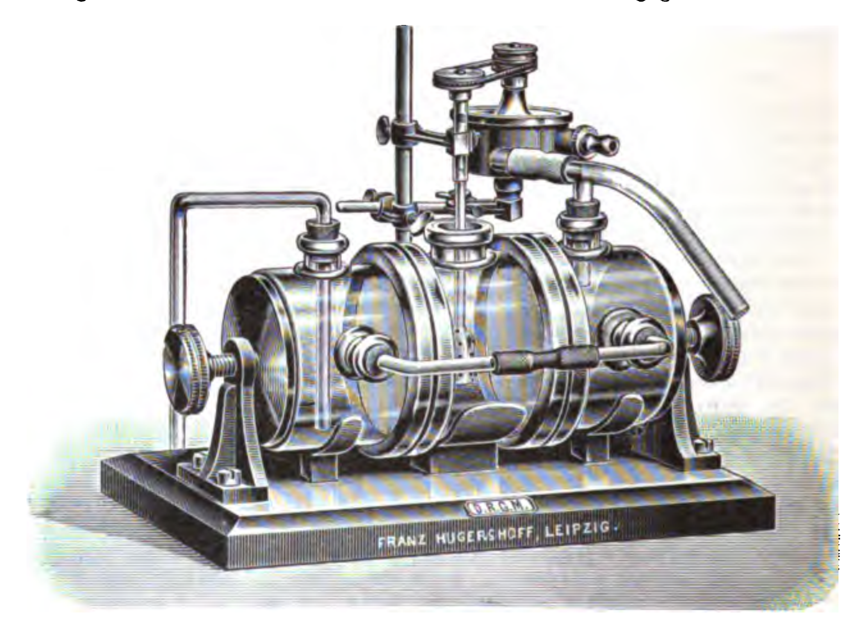


Fig. 8.

in ein Reagensglas getaucht. Philippson hat die Permeabilität dieser Schläuche für eine große Reihe von Stoffen untersucht. Von anorganischen Stoffen gehen durch: NaCl, KBr, KJ, KFl, KNO_3, $KClO_3$, $KMnO_4$, CO_2, K_2CO_3, KH_2PO_4, $K_4P_2O_7$, K_2S, K_2SO_3, $KHSO_4$, $K_2Cr_2O_7$, $CaCl_2$, $BaCl_2$, $Sr(NO_3)_2$, $MgCl_2$, Alaun, Chromalaun, $ZnCl_2$, $NiSO_4$, $CuCl_2$. $HgCl_2$, $HgNO_3$, $CaCl_2$, $AgNO_3$, $PtCl_4$, Na_3AsO_4, HPO_3, $NaPO_3$, Wolframsäure, Phosphorwolframsäure, molybdänsaures Ammon, H_2O_2, Bromwasser; nicht durchlässig waren nur kolloidales Eisenoxyd und ein Teil der Silicate. Von organischen Stoffen gehen durch: Chloroform, Alkohol, Azetaldehyd, Äther, Chloral, Glyzerin, Glukose, Laktose, Galaktose, Furfurol, Ferrozyankalium, Ferrizyankalium, Rhodankalium, Nitroprussidkalium, Benzol, Phenol, Brenzkatechin, Salizylsäure, a-Naphtol, Phloridzin, Piperidin, Atropin, Kokain, Morphin, Strychnin, Chinin, Gallensäure, Bilirubinnatrium, Erythrodextrin und Protalbumose. Nicht durchlässig sind die Schilfschläuche u. a. für Glykogen, für koagulable Eiweißkörper, für Heteroalbumose, Trypsin, hingegen nicht absolut undurchlässig für Pepsin.

Ganz allgemein gilt für alle Dialyseversuche, daß nicht generell alle sogenannten Kolloide durch Membranen nicht diffundieren. Eine erschöp-

fende Untersuchung hierüber steht noch aus. Bekannt ist aber z. B., daß kristallisiertes Eieralbumin und Hämoglobin durch Leim diffundiert (Spiro), und Pepsin in koaguliertes Eiweiß (Dauwe) eindringt.

Die Dialyse findet in erster Linie Anwendung, um kolloide Substanzen, welche durch die betreffende Membran nicht diffundieren, frei von allen kristalloiden Bestandteilen zu machen. Ferner wird sie dazu benutzt, um zu entscheiden, ob bestimmte im Blute und anderen Flüssigkeiten vorhandene Substanzen kolloid gebunden sind oder nicht, ein für das Verständnis des im Organismus vorkommenden Stoffaustausches wichtiger Fall. Mit Hilfe der Dialyse haben Gürber und Zuntz und Loewy gezeigt, daß nur ein Teil des Alkalis im Serum diffusibel, also frei gelöst sei, Schenck, Arthus, Asher und Rosenfeld, daß Zucker im Blute frei gelöst, Asher und Rosenfeld, daß NaCl auch im Hungerblute frei gelöst sei. Schließlich dienen die Dialysierapparate, vornehmlich derjenige von Waymouth Reid dazu, um die Diffusionsgeschwindigkeit einzelner Substanzen, z. B. Zucker, Pepton u. a. zu vergleichen mit der Resorptionsgeschwindigkeit dieser Substanzen. Auf diese Art von Versuchen wird im Abschnitt, der über Diffusion handelt, eingegangen werden.

3. Das Zentrifugieren.

Eine schon mehrfach erwähnte allgemeine Methode ist das Zentrifugieren. Dasselbe dient zum Sedimentieren von korpuskulären Bestandteilen in Flüssigkeiten und von Niederschlägen, sowie zur Trennung in Schichten von Substanzen von verschiedenem spezifischen Gewicht. Die Zentrifugen werden entweder durch einen Wassermotor oder einen Elektromotor betrieben. Letztere sind vorzuziehen, weil sie größere Geschwindigkeiten erzielen. Vorzügliche Zentrifugen liefert Fr. Runne, Heidelberg. Der Sicherheit und des ruhigen Ganges wegen sollen die Zentrifugen auf festem, eventuell einzementiertem Steinsockel montiert werden. Am besten findet die Zentrifuge im Keller Aufstellung, welcher auch als Ort niedrigster Temperatur nützlich ist.

4. Aufbewahrung.

Die sofortige Untersuchung der gesammelten Körperflüssigkeiten ist das ratsamste, da eine Reihe von physikalisch-chemischen Eigenschaften, welche die Körperflüssigkeiten im Augenblick der Aufsammlung, beziehentlich im tierischen Organismus besaßen, mit der Zeit sich ändern. Die Ursachen hierfür sind das Entweichen von Gas, Veränderungen der Reaktion, Ausfall von Stoffen, infolge von Abkühlung oder Reaktionsveränderung, stoffliche Umsetzungen infolge spontaner, fermentativer oder bakterieller Prozesse usw. Die Vorsichtsmaßregeln, die man treffen muß, da man meist nicht in der Lage ist, sofort alle Untersuchungen zu erledigen, ergeben sich von selbst. Die Aufbewahrung im Eisschrank hält übrigens die Körperflüssigkeiten für viele physikalisch-chemische Untersuchungen im brauchbaren Zustand.

Teil III. Bestimmung des spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten.

Allgemeines.

Das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit ist das Verhältnis seines Gewichtes zum Gewicht eines gleichen Volum Wasser von 4°. Im Zentimeter-Gramm-System, mit Wasser von 4° als Einheit, ist das spezifische Gewicht das Gewicht der mit der Flüssigkeit gefüllten Volumeinheit. Da das Volumen einer Substanz mit der Temperatur sich verändert, muß bei jeder Bestimmung des spezifischen Gewichtes die Temperatur angegeben werden.

1. Bestimmung des spezifischen Gewichtes mit dem Pyknometer. Pyknometer sind Fläschchen von einem konstanten Rauminhalt. Je nach der zu Gebote stehenden Flüssigkeitsmenge wird man größere oder kleinere Pyknometer anwenden. Man wägt das Pyknometer zuerst leer, dann mit destilliertem Wasser gefüllt. Die Differenz der beiden Gewichte $P_W—P_L$ gibt das Volum des Pyknometers. Nach sorgfältiger Reinigung des Pyknometers wird es mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und gewogen. Die Differenz $P_F—P_L$ gibt das Gewicht der Flüssigkeit. Das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ist dann:

$$s = \frac{P_F - P_L}{P_W - P_L}.$$

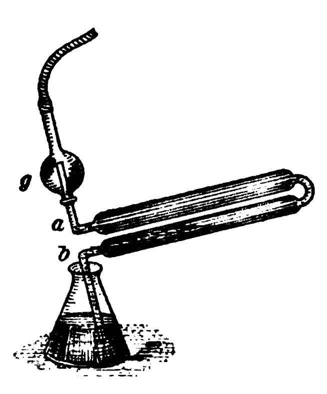


Fig. 9.

Entweder müssen das Wasser und die Flüssigkeit auf bekannte, gleiche Temperatur gebracht werden, oder im Pyknometer während der Füllung. Hierzu eignet sich am besten die Ostwaldsche Form des sogenannten Sprengelschen Pyknometers.

Dasselbe wird mit Hilfe der abgebildeten Vorrichtung bis zur Marke vollgesaugt. Ist die Flüssigkeit über die Marke hinausgegangen, so wird an der kapillar ausgezogenen Spitze mit Fließpapier zurückgesaugt. Das gefüllte Pyknometer kommt dann in ein Bad von konstanter Temperatur und verbleibt dort 10—20 Minuten. Vor der Wägung wird das Pyknometer sorgfältig abgetrocknet.

Die anderen gebräuchlichen Formen der Pyknometer mit geschlossenem oder kapillar durchbohrtem Stopfen (letztere sind weniger genau) lassen sich für sehr kleine Substanzmengen herstellen. Mit zunehmender Kleinheit wachsen die Fehler infolge des Einflusses der Temperatur; Wägefehler sind bei Anwendung einer guten Wage weniger zu fürchten. Besondere Sorgfalt ist darauf zu verwenden, die Flüssigkeitsschicht, welche sich zwischen dem Stopfen und dem Rande des Halses vom Pyknometer leicht ansammelt, mit nicht faserndem Fließpapier zu entfernen. Bei kleinen Pyknometer ohne Thermometer bringt man alle Flüssigkeiten am besten auf Zimmertemperatur.

2. Bestimmung des spezifischen Gewichtes mit der Westphalschen Wage. Für größere Flüssigkeitsmengen erhält man sehr gute Resultate mit der Westphalschen Wage, von welcher sehr genaue Formen geliefert werden. Man kann mit derselben noch die dritte Dezimale genau bestimmen. Zunächst wird die Wage mit angehängtem Glaskörper in Luft genau äquilibriert, unter Zuhilfenahme der am Apparat angebrachten Stellschraube. Dann taucht man den Glaskörper in Wasser von 15°. Der Gewichtsverlust durch Auftrieb muß dann durch Anhängen des Reitergewichtes A, (es sind gewöhnlich 4 Reiter A_1, A_2, B und C beigegeben, B = $^1/_{10}$ A. C = $^1/_{100}$ A) an dem Ende des Wagebalkens, entsprechend dem Teilstrich 10, ausgeglichen werden. Inzwischen ist die zu untersuchende Flüssigkeit auf 15° gebracht worden. Der Glaskörper wird in die Flüssigkeit getaucht. Um Gleichgewicht bei Flüssigkeiten schwerer wie Wasser zu erzielen, werden die drei Reitergewichte A_2, B, C in die passenden Einkerbungen des in 10 geteilten Wagebalkens gehängt. Nennen wir die Teilstriche, in denen die Reiter A_2, B, C bei erreichter Kompensation hängen a, b, c, so ist, nach dem Hebelprinzip

$$s = 1, a\,b\,c.$$

Bei Flüssigkeiten leichter wie Wasser, muß der Reiter A_1 vorerst entfernt werden, sonst wird wie vorher verfahren.

Es ist

$$s = 0, a\,b\,c.$$

Es muß darauf geachtet werden, daß jedesmal der Eintauchkörper mit dem Platindraht, an welchem er aufgehängt ist, so weit in die Flüssigkeit eintaucht wie beim destillierten Wasser.

3. Das Aräometer. Die Aräometer beruhen auf dem Prinzip, daß ein Körper beim Schwimmen so tief in die Flüssigkeit eintaucht, daß die von ihm verdrängte Flüssigkeit ebensoviel wiegt als er selbst. Der Teilstrich, bis zu welchem der Stiel des Aräometers einsinkt, zeigt auf einer empirischen Skala das spezifische Gewicht; einige Aräometer sind so eingerichtet, daß sie den Prozentgehalt gewisser Lösungen angeben, z. B. Alkohol, Zucker, u. a. m. Das in die Flüssigkeit getauchte Aräometer wird durch die Flüssigkeit hindurch an der Oberfläche abgelesen; die Temperatur ist festzustellen. Die gewöhnlichen Aräometer sind nicht sehr genau; Ablesefehler und Kapillarität bedingen Fehler. Es werden aber Sätze von Präzisionsaräometern geliefert, welche fast so genaue Werte geben, wie die Pyknometer.

Spezielles.

Für die Bestimmung des spezifischen Gewichtes zu physiologischen Zwecken kommen in Betracht die zur Verfügung stehenden Mengen der Flüssigkeit und die Natur derselben, schließlich der Genauigkeitsgrad, der angestrebt wird. Hat man größere Mengen einer klaren Flüssigkeit zur Verfügung, z. B. Harn, so wird man gleich gut mit der Westphalschen Wage und dem Pyknometer fahren. Die Westphalsche Wage hat den Vorzug, daß man geschwinder damit arbeiten kann. Bei undurchsichtigen Flüssigkeiten wie Blut, Milch, Galle kann es Schwierigkeiten machen, die Grenze des Eintauchens scharf zu markieren, beziehentlich abzulesen, worauf bei

Anwendung von der Westphalschen Wage und von Aräometern zu achten ist. Ferner spielt die Zähigkeit dieser Flüssigkeiten, deren Oberflächenspannung und ihre Neigung zu kriechen eine Rolle. Immerhin ergaben vergleichende Bestimmungen desselben Blutes z. B. mit dem Pyknometer, einer sehr genauen Westphalschen Wage und einem Satz von Präzisionsaräometern den nämlichen Wert für das spezifische Gewicht für 4 Dezimalstellen.

Bei kleinen Mengen kommen von den genannten Methoden nur die Pyknometer in Betracht. Klare Flüssigkeiten werden in einer kleinen Form des Ostwald-Sprengelschen Pyknometers untersucht. Blut, Milch, Galle usw. werden aber besser in einem verschlossenem Pyknometer untersucht. Hat man beim Füllen des Ostwald-Sprengelschen Pyknometers die Marke überschritten, so bleibt eine Schicht der klebrigen Flüssigkeiten an der Wand haften, die nicht unerhebliche Fehler bedingen kann. Besondere Sorgfalt ist darauf zu verwenden, daß beim Füllen keine Luftblasen in der Flüssigkeit eingeschlossen bleiben. Es ist daher jede Manipulation zu vermeiden, welche Schaumbildung hervorruft. Einzelne Schaumbläschen müssen mit einem dünnen Platindrähtchen zerstört werden.

Besondere Methoden.

1. Methoden zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Blutes.

Bei sehr vielen physiologischen Untersuchungen, namentlich auch bei Untersuchungen am Menschen, darf nur eine geringe Menge Blutes entnommen werden. Außer dieser Schwierigkeit kommt noch beim Blute die hinzu, daß es außerhalb der Blutbahn gerinnt. Daher bedarf man behufs Bestimmung des spezifischen Gewichtes eigener Methoden.

Aräometrische Methode von Roy und Hammerschlag.

Es werden eine Reihe von Salzlösungen verschiedenen spezifischen Gewichtes zwischen 1040 und 1067,5, etwa zwölf, bereit gehalten. Der durch Anstechen gewonnene Blutstropfen oder Teil eines Bluttropfens wird mit einer besonders konstruierten Spritze, deren Nadel unten bis in das Innere der Röhre reicht und deren Spitze vorn abgeglättet ist, eingesaugt, unter peinlicher Vermeidung von Luftblasen. Die Spritze wird vorher zur Hälfte oder drei Viertel mit Salzlösung gefüllt. Ist das spezifische Gewicht des Blutes größer als das der Lösung, so sinkt der Tropfen sofort unter, ist es kleiner, so steigt der Blutstropfen in die obere Partie der Spritze. Man wiederholt die Prozedur, bis man die richtige Lösung gefunden hat. Fehlerquellen dieser Methode sind die Gerinnung des Blutes und die Diffusion desselben in die Flüssigkeit.

Hammerschlag benutzt als Flüssigkeit Mischungen von Benzol und Chloroform. Dieselbe und ein Tropfen Blut kommt in ein Reagensglas, es wird so lange vorsichtig entweder Benzol oder Chloroform zugemischt bis der Blutstropfen gerade schwimmt. Der Blutstropfen wird dann durch Leinwand abfiltriert und das spezifische Gewicht der Flüssigkeit bestimmt.

Eykmann modifizierte die Hammerschlagsche Methode dahin, daß er eine Reihe von Salzlösungen anfertigt, die eine bestimmte ganz kleine Diffe-

renz im spezifischen Gewicht aufweisen (z. B. 0,0002). Dieselben werden zur besseren Unterscheidung mit kleinen Mengen Anilinfarbstoff gefärbt. Nachdem nun der zu untersuchende Blutstropfen in der Chloroformbenzolmischung zum Schweben gebracht worden ist, sucht man diejenige Lösung auf, von welcher ein Tropfen gerade in derselben Schicht wie der Blutstropfen schwebt. Diese Methode ist viel genauer als die Hammerschlagsche, weil trotz Umrührens die verschiedenen Schichten der Chloroformbenzolmischung ein verschiedenes spezifisches Gewicht haben. Die Eykmannsche Modifikation gestattet aber gerade das spezifische Gewicht derjenigen Schicht, in welcher der Blutstropfen schwebt, zu ermitteln.

Pyknometrische Methode nach Schmalz.

Eine Glaskapillare von $1\,{}^1/_2$ mm innerem Durchmesser und 12 cm Länge, die an beiden Enden leicht verengt ist, wird trocken, mit destilliertem Wasser und mit Blut gefüllt gewogen; Berechnung wie oben.

Bestimmung des spezifischen Gewichts der Serums nach Hammerschlag.

Blut wird in einer Kapillare von 1—2 mm Lumen aufgefangen, gerinnt dort und sedimentiert. Beide Enden der Kapillare werden mit Wachs verschlossen. Nachdem die Trennung von Serum und Blutkuchen eingetreten ist, wird an der Grenze beider die Kapillare mit der Feile getrennt. Das spezifische Gewicht des Serum wird dann nach der Benzolchloroformmethode von Hammerschlag bestimmt. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Plasmas dürfte sich ein Körnchen Hirudin empfehlen.

Methode von Bleibtreu zur Ermittelung des Serumvolums mit Hilfe des spezifischen Gewichts.

Die Methode ist eine Mischungsmethode, indem aus den Veränderungen des spezifischen Gewichtes je nach dem Mischungsverhältnis auf das Volum des Serum geschlossen wird.

Die Berechnung geschieht auf Grund folgender Überlegung: Es mögen s ccm Kochsalzlösung mit b ccm defibrinierten Blutes gemischt werden. Das spezifische Gewicht der aus dieser Mischung nach Absetzen der Blutkörperchen gewonnenen Kochsalzlösung-Serum-Mischung werde gleich S ermittelt. Wenn dann ferner mit So das spezifische Gewicht des Serums, mit K das spezifische Gewicht der benutzten Kochsalzlösung bezeichnet wird und a den echten Bruch bedeutet, mit welchem man das Blutvolum f multiplizieren muß, um das darin enthaltene Flüssigkeitsvolumen zu erhalten, so gilt:

In 1 Volum Salzlösung-Serum-Mischung sind enthalten $\frac{bx}{s+bx}$ Volum Serum und $\frac{s}{s+bx}$ Volum Salzlösung.

Ein Volum Salzlösung Serum-Mischung wiegt S.

Der erste Bestandteil wiegt $\frac{bx}{s+bx} \times So$.

Der zweite „ „ „ $\frac{s}{s+bx} \times K$.

Es folgt darauf die Gleichung:

$$S = \frac{bx}{s + bx} So + \frac{s}{s + bx} K.$$

Daraus findet man:

$$x = \frac{s}{b} \frac{S-K}{So-S}$$

Man kann also aus dem spezifischen Gewicht des Serums und einer Mischung immer das relative Serumvolum bestimmen, vorausgesetzt, daß man das spezifische Gewicht der benutzten Kochsalzlösung kennt. Macht man zur Kontrolle mehrere Mischungen, so fügt man in dieser Gleichung s, b und S den entsprechenden Index zu. Die zugesetzte Kochsalzlösung muß eine mit den Blutkörperchen des betreffenden Tieres streng isotonische sein, weil sich sonst das Volum der Blutkörperchen ändert. Bei Säugetieren ist demnach eine etwa 0.9% NaCl Lösung anzuwenden. Bleibtreu selbst hatte 0.65% NaCl vorgeschlagen, was durch die Kritik von Hamburger und Hedin als unrichtig dargetan wurde. Bleibtreu hat noch zwei andere Mischungsmethoden zur Bestimmung des Volums von Blutkörperchen und Serum angegeben, welche aber nicht physikalisch-chemischer Natur sind.

2. Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Kammerwassers und anderer kleinster Flüssigkeitsmengen.

Pyknometrische Methode von Golovino: Golovino hat zunächst zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Kammerwassers ein Pyknometer konstruiert, welches aber auch für andere kleinste Flüssigkeitsmengen brauchbar ist.

Es stellt ein kugelförmiges Fläschchen aus festem klaren Glase dar; die Kugel geht in einen langen Hals über, welcher mit einer konischen Erweiterung endet, deren Öffnung durch einen sorgfältig eingepaßten gläsernen Stöpsel geschlossen wird. Am Hals befindet sich ein feiner, genau ausgeführter Strich. Das Volumen bis zum Strich und folglich auch die äußere Größe der Kugel ist bei verschiedenen Pyknometern verschieden, in dem kleinsten war das Volumen ungefähr 0,15 ccm. Die obere Erweiterung des Halses ist so lang, daß man das Pyknometer während der Arbeit daran fassen kann. Die innere Fläche der Erweiterung geht allmählich in den Hals über, damit die Flüssigkeit ohne Hindernis herabfließen kann. Die Weite des Kanals des Halses beträgt ungefähr $1^1/_4$—$1^1/_2$ mm. Dieser Kanal wird von regelmäßigen gradlinigen Wänden gebildet.

Die Technik der Anwendung dieses Pyknometers zerfällt in folgende Teile:

1. Die Vorbereitung und Reinigung des Pyknometers. Die innere Fläche muß sorgfältig ausgewaschen und dann getrocknet werden. Da die Flüssigkeit nicht von selbst durch den engen Kanal des Halses dringen kann, so ist das einfachste zum Auswaschen sich einer gläsernen Pipette mit einer langgestreckten, fast kapillaren Spitze zu bedienen; die Spitze muß so fein sein, daß sie bis auf den Grund des Pyknometers dringen kann. Mit Hilfe solcher Pipetten wäscht man den Apparat nacheinander mit destilliertem Wasser, absolutem Alkohol und Äther. Um diesen letzteren zu entfernen, kann man das Pyknometer einer Hitze von 100° aussetzen, oder — was einfacher ist — man wendet eine Wasserpumpe an. Das konstante Gewicht, als Resultat zweier Wägungen, muß zeigen, daß der Apparat vollkommen befriedigend getrocknet ist.

2. Die Füllung des Pyknometers mit der zu untersuchenden Flüssigkeit. Das Kammerwasser, welches man in die Spritze gesammelt hat, muß man sogleich und durch dieselbe Nadel in das Pyknometer entleeren. Am besten ist es Spritzen solchen Systems zu benutzen, bei dem der aufsaugende Teil des Apparates (z. B. der Pumpenstengel) von dem Zylinder abgesondert ist, wodurch die Möglichkeit einer Verunreinigung der Flüssigkeit durch den Pumpenkolben ausgeschlossen ist. Dieser Zylinder muß ebenso wie das Pyknometer jedesmal ausgespült und getrocknet werden. Das Pyknometer wird mit der zu untersuchenden Flüssigkeit so weit gefüllt, daß dieselbe 2—3 mm über dem Strich steht, dann wird die Innenseite des Halses rasch ausgewischt und das Pyknometer mit dem Stöpsel geschlossen. Zum Auswischen dienen Stückchen von Blumen-

papier, die man zu dünnen Stäbchen zusammengedreht hat. Dann untersucht man den Apparat durch die Lupe und entfernt etwaige in der Flüssigkeit vorhandene Luftbläschen durch vorsichtiges Klopfen an die Kugel. Dann schreitet man zur Bestimmung des Volumens der Flüssigkeit bei beständiger Temperatur, am besten bei 0°, man faßt das Pyknometer am Hals und versenkt es bis zum Strich in ein Gefäß mit schmelzendem Schnee oder Eis, wo es 1/4 Stunde bleiben muß. Dann öffnet man vorsichtig den Stöpsel, entfernt die überstehende Flüssigkeit, — wozu man sich einer feinen Pipette bedient, — und stellt unter Kontrolle der Lupe den Rand des Meniskus auf den Strich ein; dann wischt man nochmals die Innenfläche des Halses mit dem Papierstäbchen aus. Nachdem man den Stöpsel fest geschlossen hat, nimmt man das Pyknometer aus dem Schnee, spült es von außen mit destilliertem Wasser ab und trocknet es mit gutem (nicht faserndem) Filtrierpapier und legt es auf die Wage, wobei man es nicht mit den Fingern, sondern mit einer Pinzette faßt.

3. Die Wägung muß sehr sorgfältig ausgeführt werden, mit allen Vorsichtsmaßregeln, die für solche Arbeiten gebräuchlich sind: man läßt das Pyknometer einige Minuten unter der Glasglocke der Wage zur Regulierung der Temperatur; vor jeder Wägung muß man die Schwingungen des Wagebalkens regulieren, immer ein und dieselben Gewichte benutzen usw. Die Wage muß so genau sein, daß man 0,1 mgr. feststellen kann.

3. Spezifisches Gewicht von Organstücken.

Um das spezifische Gewicht von Organstücken zu bestimmen, bedient man sich der Royschen beziehentlich Hammerschlag-Eykmannschen Methode. Die Fehlerquellen der Methode sind hierbei nicht unerheblich. Das betreffende Organstück muß sehr sorgfältig behandelt und die Untersuchung muß mit großer Geschwindigkeit ausgeführt werden, um Veränderungen auszuschließen. Besonders gilt das letztere bei der Anwendung von Glyzerin in der ursprünglichen Royschen Methode, da dasselbe sehr rasch in gewisse Gewebe eindringt. Es muß peinlich darauf geachtet werden, daß dem Gewebsstück keine Luftblasen adhärieren. Durch Anwendung gekochter Lösungen kann man sich das Fernhalten von Luftblasen einigermaßen erleichtern. Schließlich ist dem Umstande Rechnung zu tragen, daß das zu untersuchende Gewebsstück möglichst frei von anderen Gewebsbestandteilen untersucht wird. Die oben beschriebene Eykmannsche Modifikation der Hammerschlagschen Methode ist für kleine Gewebspartikel in bezug auf Raschheit und Genauigkeit des Verfahrens gut brauchbar.

Teil IV. Physikalisch-chemische Methoden zur Bestimmung der Konzentrationsverhältnisse und des osmotischen Druckes.

Allgemeines.

Mit Hilfe physikalisch-chemischer Methoden werden die molekulare Konzentration, die Ionenkonzentration sowie die sogenannte osmotische Konzentration bestimmt. Die molekulare Konzentration wird ausgedrückt durch eine Zahl, welche angibt, wie viele Gramm des Molekulargewichtes der gelösten Substanz in einem Liter vorhanden sind. Einheit der Konzentration ist ein Mol im Liter. Nach der elektrolytischen Dissoziationstheorie von Arrhenius sind die Elektrolyte (Säuren, Basen und Salze) mehr oder weniger in Ionen gespalten, deren im Liter vorhandene Menge als Ionenkonzentration bezeichnet wird. Alle Bestimmungsmethoden beruhen in letzter Linie darauf,

daß die in Lösung vorhandenen Moleküle und Ionen gewisse Wirkungen der Lösungen verursachen, nämlich Lieferung von Potentialunterschieden und Leistung von chemischer Arbeit. Aus der Größe dieser Wirkungen wird auf die zugrunde liegende Konzentration geschlossen. [Die Lehren, welche diesen physikalisch-chemischen Messungen zugrunde liegen, sind in allen den bekannten Lehrbüchern der physikalischen Chemie eingehend dargelegt. Dort findet sich auch die notwendige Berücksichtigung des hypothetischen Elementes, welches in die hier zu beschreibenden Konzentrationsmessungen mit eingeht, nämlich der Hypothese von Avogadro].

Abteilung 1. Bestimmungen des osmotischen Druckes.

1. Direkte Methode.

Der osmotische Druck wird meist mit indirekten Methoden bestimmt. Es ist aber von Wichtigkeit, denselben auch direkt zu bestimmen; erstens deshalb, weil die direkte Bestimmung an und für sich vorzuziehen ist, zweitens deshalb, weil die direkte Bestimmung da, wo sie anwendbar, genauer als die indirekte ist.

Methode von Pfeffer: Die Methode von Pfeffer ist die klassische, da durch sie zum ersten Male der osmotische Druck meßbar dargelegt wurde und die mit dieser Methode erhaltenen Werte die experimentelle Grundlage geworden sind für die Entwicklung der Lehre vom osmotischen Druck. Sie besteht darin, daß eine Traubesche halbdurchlässige Membran in eine Tonzelle eingelagert wird, die Tonzelle mit der zu untersuchenden Lösung gefüllt verschlossen und mit einem Hg-Manometer verbunden wird; darauf wird die Zelle in ein Gefäß mit destilliertem Wasser gesetzt. Die genauere Herstellungsweise ist folgende:

Ein kleiner Tonzylinder, etwa das untere Ende einer Chamberlandkerze, wird mit einem Kautschukpfropfen verschlossen, durch dessen Bohrung ein Glasrohr geht. Der in verdünnte Salzsäure getauchte Zylinder wird mit der Wasserluftpumpe verbunden und die Salzsäure zur Reinigung der Poren von Kaolinstäubchen durchgesaugt. Auf dieselbe Weise wird mit Wasser gereinigt, schließlich wird die Zelle durch längeres Kochen in Wasser von Luft befreit. Dann wird die Zelle in eine 13.9% Lösung von Kaliumferrozyanid eingetaucht und die Lösung durchgesaugt; nach oberflächlicher Abspülung wird die Zelle mit 24.1% Lösung Kupfersulfat innen und außen umgeben. Innerhalb 15—40 Stunden bildet sich in der Wand des Tonzylinders eine haltbare Membran von Ferrozyankupfer.

Gute Membranen zu erhalten, ist ziemlich schwierig, und dieser Umstand hat mit dazu beigetragen, daß die Pfeffersche Methode seitdem wenig angewandt wurde.

Morse und Horn haben ein Verfahren angegeben, um sehr vollkommene Membranen in Tonzellen einzulagern. Zunächst wird die Luft aus den Poren durch einen endosmotischen Strom entfernt. Die Zelle wird mit einer verdünnten Lösung K_2SO_4 gefüllt und in ein Gefäß mit derselben Lösung nahe bis zum oberen Rande getaucht. Dann wird ein Strom von einer Dynamomaschine durchgeschickt vermittelst einer Kupferelektrode, welche außen die Zelle umgibt, und einer innen befindlichen Platinelektrode. Die in der Zelle emporsteigende Flüssigkeit wird entfernt und in kurzer Zeit ist alle Luft aus den Poren entfernt. Darauf wird die Zelle wiederum mit $K_4 Fe (CN)_6$ gefüllt und in ein Gefäß mit $Cu SO_4$ getaucht. Ein Strom wird wieder durchgeleitet und dadurch werden von einer Seite die $Fe (CN)_6$ Ionen, von der anderen Seite die Cu Ionen in

den Ton gepreßt. Die Zelle mit der Membran wird nach Füllung mit der zu untersuchenden Lösung mit guter Dichtung verschlossen; die Figur 10 zeigt die Pfeffersche Anordnung hierzu nebst dem Röhrchen, welches nach Entfernung der letzten Spur Luft zugeschlossen wird, und dem Hg-Manometer. Die Zelle wird in destilliertes Wasser getaucht, so daß das Innen- und Außenniveau gleich ist. Die gesamte Einrichtung kommt in ein Wasserbad von konstanter Temperatur. Das Manometer beginnt zu steigen und erreicht nach zwei oder mehr Tagen ein konstantes maximales Niveau. Die Voraussetzung dafür, daß mit Hilfe dieser Vorrichtung der osmotische Druck richtig bestimmt wird, ist die, daß die betreffende Membran nur durchlässig für Wasser, und absolut undurchlässig für die in Lösung befindliche Substanz ist. Für die Membranbildner trifft das zu, praktisch vollständig auch für den von Pfeffer vornehmlich zum Studium des osmotischen Drucks benutzten Rohrzucker.

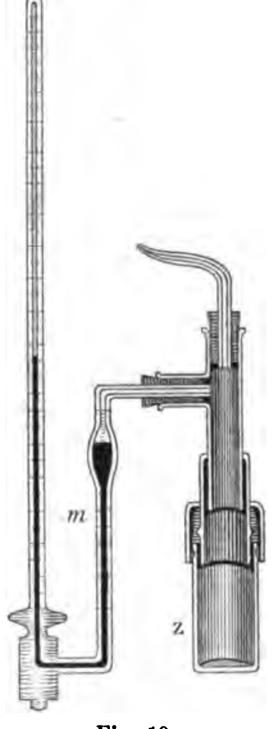


Fig. 10.

Die Permeabilitätsverhältnisse der einzelnen Membrane sind von Tamann und Walden eingehend untersucht worden. Für die in den tierischen Flüssigkeiten vorkommenden Substanzen muß in jedem Einzelfall die Permeabilität untersucht werden; leider ist wegen Mangels geeigneter Membranen die Anwendungsfähigkeit der Methode Pfeffers eine beschränkte.

2. Methoden zur direkten Bestimmung des osmotischen Druckes kolloider Lösungen.

Von besonderem Interesse in der Physiologie ist die Frage nach dem osmotischen Druck kolloider Lösungen. Die Ansichten über das eventuelle Vorkommen und die etwaige Höhe des osmotischen Druckes kolloider Substanzen, hierunter vornehmlich auch des Eiweißes, sind noch geteilt. Das rührt besonders daher, daß die zumeist angewandten indirekten Methoden nicht denjenigen Grad hoher Genauigkeit besitzen, den sie gerade für die exakte Bestimmung des hier zu erwartenden niedrigen Druckwertes haben müßten. Hier müßten die direkten Methoden einspringen.

Methode von Starling: Die Methode von Starling zur Messung des osmotischen Druckes des Eiweißes im Serum beruht auf dem Prinzip, zwei Serumarten in einem Osmometer als Außen- und in Innenflüssigkeit zu benutzen, welche sich nur in ihrem Eiweißgehalt voneinander unterscheiden. Es werden 150 ccm von klarem, filtrierten Serum unter einem Druck von 30—40 Atmosphären nach der Martinschen Methode (siehe oben Seite 121) filtriert. Das erhaltene Filtrat, von dem man die ersten durchgehenden Tropfen nicht benutzen darf, kommt in das Innenrohr, das kondensierte Serum in das Außenrohr des nachfolgenden Osmometers (Fig. 11).

Der Tubus BB des Osmometers (des Innenrohres) besteht aus Silbergaze und ist an beiden Enden mit einem Rohr aus Silber verbunden. Um den Gazeteil wird Peritonealmembran gewickelt, dieselbe mit 10 % Gelatinelösung überstrichen und dann eine zweite Peritonealmembran darüber gelegt.

Das Rohr wird mit dünnem Faden ringsum umwickelt und 1/2 Stunde in warme Gelatinelösung getränkt. Das fertige Rohr wird in das Außenrohr AA gebracht. Letzteres hat eine Öffnung zum Füllen und eine für das Hg-Manometer. Das Innenrohr ragt über die gedichteten Enden des Außenrohres heraus und ist vermittelst zweier Schläuche mit zwei kleinen Reservoiren verbunden. Um Verdunstung zn verhüten, werden die letzteren zugestöpselt. Das ganze ist auf einer Einrichtung zum kontinuierlichen Hin- und Herbewegen montiert.

Nach 1—3 Tagen stellt sich ein konstanter Druckwert ein, es hat sich durch Diffusion der etwaige Unterschied in der Konzentration der diffusiblen Bestandteile ausgeglichen und es bleibt nur noch der Unterschied des Kolloids (Eiweiß) auf beiden Seiten der Membran. Man kann auch von vorneherein in das mit dem Manometer verbundene Außenrohr unverändertes Serum oder eine andere Eiweißlösung bringen, in das Innenrohr das eiweißfreie Filtrat. Starling hat für die Serumeiweißkörper, da, wie oben auseinandergesetzt wurde, das Filtrat nach der Martinschen Methode sich vom

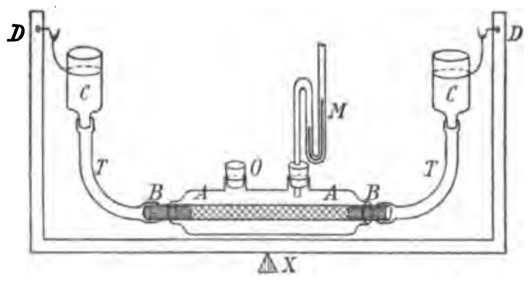
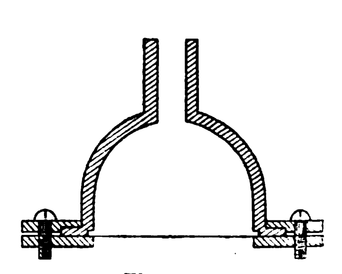


Fig. 11.


Fig. 12a.

ursprünglichen Serum nicht bloß durch das Fehlen von Eiweiß unterscheidet, einen zu hohen Wert gefunden. Starling selbst hat gefunden, daß gewisse Eiweißkörper (z. B. Kasein) selbst nach 2—3 Wochen nach seiner Methode keine konstante Werte geben, weil schwer diffusible anhaftende Substanzen nicht durch das Filter passieren, im Anfange im Osmometer zu hohe Werte liefern und nur ganz allmählich hinausdiffundieren.

Methode von Moore und Parker. Das Osmometer von Moore und Parker ist eine Modifikation des bekannten Osmometers von Dutrochet.

Die Form ist aus der Figur 12a ersichtlich. Um absolut dichten zu können, ist das Instrument aus Messing konstruiert; um jede chemische Wirkung auszuschließen, ist das Messing versilbert und innen vergoldet. Als Membran dient eine sehr dünne Pergamentmembran. Dieselbe wird zwischen zwei Flanschen vermittelst vier Schrauben festgeschraubt, unter Zwischenlegung von einem Gummiring. Selbst bei mehrwöchentlicher Dialyse zeigt die Außenflüssigkeit keine Spur von Eiweiß oder anderem Kolloid, wenn die Anlegung der befeuchteten Membran richtig geschah. Oben wird vermittelst eines dickwandigen Barometerrohrstückes von enger Bohrung mit dem Manometer verbunden; über das Rohr wird an einem Ende ein dickwandiger Gummischlauch gezogen. Die Dimensionen sind so gewählt,

daß mit einigem Druck das mit Schlauch überzogene Rohrende in den oberen Tubus des Osmometers dicht eingepaßt werden kann. Behufs Druckmessung wird ein Hg-Manometer angeschaltet. Die Anwendung von Pergamentpapier hat gegenüber von Gelatine den Vorzug, daß der osmotische Druck auch bei hohen Temperaturen bestimmt werden kann. Um mit diesem Osmometer richtige Werte des etwaigen osmotischen Druckes kolloider Lösungen erhalten zu können, würde Voraussetzung sein, daß die angewandte Membran für Wasser und alle etwaigen dem Kolloid anhaftenden Kristalloide absolut permeabel und nur für das Kolloid absolut impermeabel wäre. Das ist aber, was die Kristalloide anbetrifft, nicht der Fall. Die leicht diffusiblen diffundieren allerdings rasch und die Konzentration der Innen- und Außenflüssigkeit wird in bezug auf dieselben gleich; aber die schwer diffusiblen, nicht Kolloid Bestandteile, dieselben, welche bei der Fällung des Eiweißes mit gefällt werden (aus diesem Grunde geben Bestimmungen des osmotischen Druckes vor und nach Fällung des Eiweißes unrichtige Werte) bleiben auch nach langer Diffusionszeit im Osmometer. Um nun zu entscheiden, ob die geringen, aber immerhin merklichen Druckwerte, welche auch nach langer Diffusionszeit im Osmometer an Eiweißlösungen erhalten werden, herrühren vom Eiweiß selbst, wobei die nicht diffusiblen Aschebestandteile zum Eiweißmolekül selbst gehören würden, oder von den als Verunreinigungen zu denkenden Aschebestandteilen, haben Moore und Parker ein neues methodisches Verfahren angewandt. Sie versetzten die Innenflüssigkeit, nämlich Blutserum, mit so viel einer 10% Natriumhydratlösung, daß gerade eine 1% Lösung hiervon entsteht und kochen sie. Hierdurch werden die Eiweiße des Blutserums in Alkalialbuminat umgewandelt, bleiben also noch Kolloide, aber die Größe ihres Molekularaggregats wird geändert. Die Aschebestandteile des Eiweißes erleiden hierbei höchstens die Veränderung, daß sie leichter diffusibel werden; die Außenflüssigkeit wird auf gleichen Natriumgehalt gebracht, kleine Ungleichheiten gleichen sich durch Diffusion rasch aus. Die jetzt erhaltenen Werte (sie sind viel höher als vorher, z. B. Steigerung von 23 mm Hg Druck auf 100 mm) sind daher auf die jetzt kleiner gewordenen Kolloidmoleküle selbst zu beziehen, dementsprechend auch die früheren niedrigen Werte. Bei der praktischen Ausführung dieser Methode ist stets die Außenflüssigeit am Ende des Versuchs auf Fehlen von Eiweiß zu untersuchen.

Eine neuere Form des Osmometers stammt von Moore und Roaf (Figur 12b). Das wesentliche ist aus der Figur verständlich. Jede Kammer faßt etwa 20 cm^3, der Durchmesser beträgt 5 cm^3, die Tiefe 1 cm^3. In die obere Kammer kommt die zu untersuchende Kolloidlösung, welche mit einem Manometer kommuniziert. Zwischen Manometer und Osmometer ist ein T-Rohr eingeschaltet zur luftfreien Füllung. Die andere Kammer wird mit der Kristalloidlösung gefüllt. Ein etwaiger Unterschied gleicht sich rasch durch die große Oberfläche der trennenden für Kolloid undurchlässigen Membran aus. Die Verbindungen zeigt Fig. 12c.

Methode von Oker-Blom. Diese Methode zur Bestimmung des osmotischen Druckes der Eiweißkörper des Serums ist eine qualitative. In einige gleich weite Petrischalen werden 10 cm^3 einer 5—10% warmen Gelatinelösung gegeben und gleichmäßig auf den ganzen Boden des Gefäßes

verteilt. Sobald die Gelatine festgeworden ist, werden darüber je 10 cm³ der zu prüfenden Flüssigkeit gegossen. In die eine Schale kommt normales Serum, in die andere enteiweißtes. Die Schalen werden mit ihren Deckeln verschlossen 20—24 Stunden stehen gelassen. Nachher wird die auf der Gelatine liegende Flüssigkeit abgegossen, die Oberfläche derselben mit reinem Wasser abgespült und dieses durch Schiefstellung der Schale zum möglichst

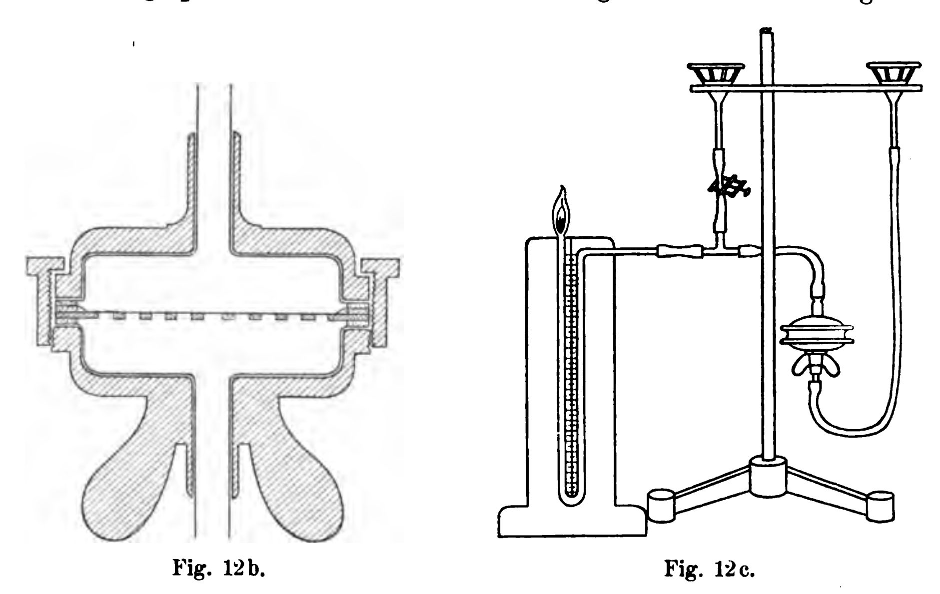


Fig. 12b. Fig. 12c.

gleichmäßigen Abfließen gebracht, sowie die Ränder des Gefäßes sorgfältig abgetrocknet. Die Schale samt ihren 10 cm³ Gelatine wird vor wie nach dem Versuch gewogen, wobei die Gewichtsdifferenz anzeigt, inwieweit die Gelatine von der darüber geschichteten Flüssigkeit etwas aufgenommen hat. Die Versuche ergeben, daß die Gelatine unter der eiweißfreien Lösung mehr an Gewicht zunimmt als unter der eiweißhaltigen, woraus auf einen osmotischen Druck des Eiweißes zu schließen ist. Allerdings gelten in bezug auf diese Methode einige der oben besprochenen Einwände.

Abteilung 2. Bestimmung des Gefrierpunkts von Lösungen und von Körperflüssigkeiten.

Theorie und Prinzip.

Gefrierpunkt einer Flüssigkeit ist diejenige Temperatur, bei welcher Flüssigkeit und Eis nebeneinander bestehen können. Der Gefrierpunkt des reinen Wassers ist 0°. Bei Lösungen findet eine Erniedrigung des Gefrierpunktes statt. Diese Erniedrigung ist proportional der molekularen Konzentration der Lösung, bei allen Elektrolyten (Salzen, Alkalien und Säuren) in wässeriger Lösung proportional der Konzentration an Molekülen + Ionen. Letztere Konzentration, welche bei allen physiologischen Verhältnissen ausschließlich in Betracht kommt, bezeichnet Hamburger als osmotische

Konzentration. Da der osmotische Druck einer Lösung gleichfalls proportional der molekularen Konzentration, beziehentlich der osmotischen Konzentration, ist, gibt die Gefrierpunktserniedrigung auch Aufschluß über die Größe des osmotischen Druckes. Die Erniedrigung des Gefrierpunktes von Lösungen ist ein Ausdruck für die Tatsache, daß es einer Arbeit bedarf, um Lösungsmittel aus einer Lösung abzuscheiden. Die Abscheidung von Lösungsmittel bedeutet eine Volumsverminderung; gegen eben diese Volumsverminderung leistet der osmotische Druck Widerstand, der durch eine Arbeit überwunden werden muß.

Bei Nichtelektrolyten erniedrigt jedes in 1000 gr Wasser aufgelöstes Grammolekül den Gefrierpunkt um 1.85°, bei dieser ist also, wenn $\triangle^0$ den beobachteten Gefrierpunkt bedeutet

$$\frac{\triangle^0}{1.85} = \text{molekulare Konzentration.}$$

Bei in Wasser aufgelösten Elektrolyten beteiligen sich die nicht dissoziierten Moleküle und die dissoziierten Ionen an der Gefrierpunktserniedrigung, wie auch an dem osmotischen Drucke. Für diese ist

$$\frac{\triangle^0}{1.85} = \text{osmotische Konzentration} = \text{Konzentration Moleküle} + \text{Ionen.}$$

Die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung an den Körperflüssigkeiten gibt somit die osmotische, nicht die molekulare Konzentration. Es sind beteiligt die Nichtelektrolyte, die ungespaltenen Elektrolyte und deren Ionen. Wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, die osmotische Konzentration in 1 Liter Lösung gesucht wird, so bedarf der obige für 1000 gr geltende Ausdruck einer Korrektur. Es sei S das spezifische Gewicht der Lösung, p das Gewicht der aufgelösten Substanzen, so sind in 1000 S gr Lösung 1000 S—p gr Wasser. Da in 1000 gr Wasser die osmotische Konzentration $= \frac{\triangle^0}{1.85}$ ist, ist im Liter Lösung $\frac{\triangle^0}{1.85} \cdot \frac{1000\,S-p}{1000}$ = osmotische Konzentration.

Diese Korrektur kann vernachlässigt werden, wenn die Lösung verdünnt ist und die gelöste Substanz kein großes Molekularvolumen besitzt.

Beispiel: Die osmotische Konzentration eines Serums mit $\triangle^0 = 0{,}620$, einem spezifischen Gewicht von 1.0234, einem Eiweißgehalt von 62.7 und einem Aschegehalt von 9.05 pro Liter, hat ohne Korrektur den Wert 0.335, mit Korrektur 0.319 Mol pro Liter.

Die quantitativen Beziehungen zwischen Gefrierpunktserniedrigung und osmotischem Druck ergeben sich aus folgendem: Die direkte Messung des osmotischen Druckes mit dem Quecksilbermanometer ergab bei einer 1% Zuckerlösung 0.649 Atmosphären (Pfeffer), die entsprechende Gefrierpunktserniedrigung — 0.0546°. Es entspricht demnach — 0.001° Gefrierpunktserniedrigung einem Druck von 0.012 Atmosphären oder etwa = 9.1 mm Hg.

Der Theorie des osmotischen Druckes nach besteht zwischen der Gefrierpunktserniedrigung und dem osmotischen Drucke folgende Beziehung

$$P = \frac{1000\,Sw}{24.25}\,\frac{t}{To}\ \text{Atm.}$$

wo S das spezifische Gewicht, w die in Kalorien ausgedrückte Schmelzwärme von 1 gr. Lösungsmittel, 24,25 den Faktor der Kalorien in Literatmosphären reduziert, To die Schmelztemperatur des Lösungsmittels und t = To—T die Gefrierpunktserniedrigung bedeuten. Für Wasser ist

$$\frac{1000\ Sw}{24{,}25\ To} = \frac{1000 \times 79.6}{24.25 \times 273} = 12.03 \text{ also}$$

$$P = 12.03\ t\ \text{Atm.}$$

Die Theorie ergibt fast denselben Wert des osmotischen Druckes pro $\frac{1}{1000}$ Grad Gefrierpunktserniedrigung wie das Experiment.

Prinzip der Methode: Die zu untersuchende Flüssigkeit kommt in ein Gefäß, welches von einem Luftmantel umgeben ist; Gefriergefäß mit Luftmantel werden in ein Kältebad versenkt. In das Gefriergefäß taucht ein in $\frac{1}{100}$ Grade geteiltes Thermometer und ein Rührer aus Platin. Durch eine im Kältebad befindliche Kältemischung wird die Flüssigkeit unter Rühren abgekühlt bis zur Unterkühlung. Bei Ausscheidung von Eis steigt das Thermometer und der Stand des Quecksilbers bleibt eine Zeitlang auf einem bestimmten Grade, dem Gefrierpunkt der Lösung, konstant.

Je nach den Zwecken, die man bei der Bestimmung des Gefrierpunktes einer Lösung verfolgt, wendet man eine einfachere oder genauere Methode an.

A. Bestimmung des Gefrierpunktes mit dem Beckmannschen Apparate.

Der am häufigsten in der Physiologie angewandte Apparat zur Bestimmung des Gefrierpunktes, ist der von Beckmann, mit dem von Heidenhain angegebenen 100teiligen Thermometer. Da es sich in der Physiologie nur um wässerige Lösungen handelt, hat Heidenhain das Beckmannsche Thermometer dahin abgeändert, daß es einen festen 0-Punkt hat und ein Meßbereich von etwa + 1 bis — 5°. Das hat den Vorzug, daß die mühsame Einstellung des Quecksilberfadens aus einem oberen Reservoir wegfällt. Aber die Richtigkeit, beziehentlich die Abweichung des 0-Punkts der Skala von dem Gefrierpunkt des reinen Wassers muß fortwährend kontrolliert werden.

Von den gebräuchlichen Formen des Beckmannschen Apparates ist hier diejenige von Asher abgebildet (Fig. 13) und beschrieben. Die Größe des Thermometers T und des Kühlgefäßes K, welches in einem Luftmantel mit Platinrührer sitzt, ist so gewählt, daß im Kühlgefäß 6.5—7 cm³ Versuchsflüssigkeit Platz findet. Das Thermometer wird bei Nichtgebrauch durch den Halter h zur Seite in die Hülse h gestellt. (h in der Figur nicht sichtbar.) Der untere Hals des Thermometers ist so lang, daß die ganze Skala über dem Kühler zu stehen kommt. (Es werden manchmal Thermometer geliefert, wo dies nicht der Fall ist und daher die Ablesung erschwert wird.) Das Kältebad von etwas größerer Dimension besitzt zum leichten Herstellen der Kältemischung und raschem Wechseln der erforderlichen Temperatur des Außenbades seitlich zwei größere, durch Klappen verschließbare Öffnungen O, um bequem mit der Hand Eisstückchen, beziehentlich Salzlösungen bestimmter Konzentration und Eisstückchen einzubringen oder entfernen zu können. K ist ein mit Alkohol zu füllendes Vorkühlgefäß zum raschen Abkühlen des Gefriergefäßes in die Nähe des Gefrierpunkts. Der Nickelrührer R dient für die Kältemischung, der Heber H zum bequemen Entfernen der Bodenflüssigkeit. Der Untersatz U schützt den Tisch. Zum bequemen Transport des ganzen Apparates dienen die Handheber H.

Zuerst wird das Kühlgefäß mit der Kältemischung versehen. Als Kältemischung können dienen: 1. 3 Teile fein gestoßenes Eis, 1 Teil Kochsalz und so viel Wasser, daß die Temperatur —5° bis —3° beträgt. Je niedriger die Temperatur, desto rascher kann die einzelne Bestimmung ausgeführt werden, aber desto mehr weicht der beobachtete Gefrierpunkt von dem wahren Gefrierpunkt der Flüssigkeit ab. 2. 18 % Kochsalzlösung, in welche Eisstückchen eingetragen werden. Durch abwechselndes Zutun von Lösung, Eis und Wasser kann die Temperatur bis auf $^1/_2$ Grade ziemlich konstant gehalten werden. Die Kältemischung wird dauernd gerührt. Das Gefrierrohr wird mit reinem, destillierten Wasser bis zur Marke gefüllt[1]); der Stopfen mit dem Thermometer und dem Platinrührer werden eingesetzt. Das Thermometer darf den Boden des Gefrierrohres nicht berühren, sondern es muß der Quecksilbervorratsraum allseitig von Flüssigkeit umgeben sein. Der Rührer muß so stehen, daß er beim Rühren an das Thermometer nicht reibt. Man kühlt nun das Gefrierrohr mit dem Wasser durch direktes Einsetzen in die Kältemischung oder (beim obigen Apparat) in den mit Alkohol gefüllten Vorkühleraum bis auf 0° ab, trocknet das Rohr dann rasch von der anhaftenden Flüssigkeit ab, und setzt dann das Rohr in den Luftmantel ein. Die äußerliche Flüssigkeitsschicht muß ganz entfernt werden, weil eine sich außen bildende Eiskruste Fehler bedingt. Man rührt mit dem Rührer in einem möglichst konstanten Tempo, etwa unter Zuhilfenahme eines Metronoms einen bis zwei Hub pro Sekunde. Stützt man den Arm auf und hält den Rührer zwischen Zeigefinger und großen Finger und führt die Bewegung nur im ersten Fingergelenk aus, so kann das Rühren mit derselben Konstanz bewerkstelligt werden, wie durch ein automatisches Rührwerk. Sehr bequeme Rührwerke liefert Fr. Köhler (Universitätsmechaniker, Leipzig). Das Wasser unterkühlt sich langsam. Man leitet das Gefrieren ein durch Impfen mit einem Eiskriställchen bei etwa 0.5 bis 1° Grad Unterkühlung. Zu diesem Zwecke berührt man mit dem Impfstift den emporgezogenen Rührer durch den seitlichen Stutzen des Kühlrohres in der Weise, daß der Eiskristall an ihm haften bleibt. Der mit einem Wassertropfen beschickte



Fig. 13.

1) Nach Raoult gibt mit Luft gesättigtes Wasser richtigere Werte als ausgekochtes.

Impfstift wird innerhalb des Kältebades in seinem Gefrierrohre bereit gehalten. Dann wird langsam und gleichmäßig mit dem Rührer gerührt. Der Quecksilberfaden steigt im Thermometer plötzlich rasch in die Höhe, dann langsamer und erreicht allmählich einen höchsten Stand, auf dem er verharrt. Dieser Stand entspricht dem Gefrierpunkt des Wassers. Später nach vollständigem Ausfrieren fällt die Quecksilbersäule wieder. Während der Ablesung empfiehlt es sich, das Thermometer ein paarmal schnell anzuklopfen. Man kann die ganze Prozedur nach Bedarf ein oder mehrere Male wiederholen, nachdem vorher im herausgenommenen Gefrierrohr das Eis durch Anwärmen mit der Hand geschmolzen worden ist.

Diese Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung von reinem Wasser dient bei dem Heidenhainschen Thermometer vor allem auch zur Kontrolle der Richtigkeit des 0-Punktes und sollte bei allen Versuchen, bei welchen es sich nicht um Vergleichungen, sondern um Ermittelung absoluter Werte handelt, stets wiederholt werden.

Die im Vorkühlgefäß K′ vorgekühlte in einer zweiten Kühlröhre befindliche und gleich hoch wie vorher reichende Lösung oder Körperflüssigkeit wird in der gleichen Weise untersucht. Die Temperatur des Außenbades muß die nämliche sein wie vorher; bei einer größeren Reihe von vergleichenden Bestimmungen ist auf diesen Punkt genau zu achten. Die Unterkühlung läßt man 0.5° bis 1° unter dem zu erwartenden Gefrierpunkt gehen und impft dann mit dem Eiskristalle. Durch eine vorläufige Bestimmung kann der Gefrierpunkt angenähert vorher ermittelt werden. Das Wiederansteigern des durch Unterkühlung gesunkenen Quecksilberfadens erfolgt nur bis zu einem unter 0 Grad gelegenen Skalenteil. Mit Hilfe der Lupe (oder einer von Fr. Köhler konstruierten Ablesevorrichtung. Katalog No. 1401, bestehend aus Lupe und Beleuchtungsglühlampe, verschiebbar an dem Thermometer angebracht), kann die Ablesung bis auf 0.001—0.002° genau gemacht werden. Hat man das Gefrieren durch Impfung mit einem Eiskriställchen eingeleitet, so muß bei der Wiederholung der Bestimmung mit einiger Vorsicht vorgegangen werden. Das Wiederauftauen der Flüssigkeit im Kühlrohre darf nicht bis zum vollständigen Verschwinden des Eises getrieben werden, da sonst wegen des Zusatzes von Eis eine Verdünnung der ursprünglichen Flüssigkeit eintreten würde. Es ist ratsam, jedesmal zwei oder drei Bestimmungen auszuführen.

Hamburger schlägt vor, am Ende der Versuchsreihe noch einmal den Gefrierpunkt des reinen Wassers zu bestimmen, da sich selbst während einer Versuchsdauer der Nullpunkt verschieben kann. Ferner hat derselbe Forscher zur Erhöhung der Genauigkeit vorgeschlagen, am Anfang und Ende einer Versuchsreihe den Gefrierpunkt einer reinen 1% NaCl Lösung zu ermitteln. Dieselbe beträgt —0.589°. Dieser Wert ist durch Interpolation aus Werten erhalten, welche durch die Präzisionskryoskopie gefunden wurden.

Hamburger bereitet seine Kochsalzlösung folgendermaßen: Chemisch reines Kochsalz wird zur Austreibung von Salzsäure und Wasser im Porzellantiegel stark erhitzt, 10 grm davon in der Luft abgewogen und in einem Kilogramm reinem destillierten Wasser aufgelöst. Diese Lösung hat bei 0° das spezifische Gewicht 1.007634 und enthält im Liter 9.9702 gr NaCl.

Die etwa erhaltene Abweichung vom Werte —0.589° dient zur Korrektur.

Präzisionskryoskopie.

Theorie.

Die soeben beschriebene Methode ist mit gewissen Ungenauigkeiten verknüpft, wodurch Abweichungen vom wahren Gefrierpunkt der Lösung erhalten werden, welche in das Gewicht fallen können, wenn es sich um genaue Molekulargewichtbestimmungen oder osmotische Konzentrationsbestimmungen in sehr verdünnten Lösungen, oder um die Ermittelung des osmotischen Druckes einer solchen Lösung handelt. Die Fehler werden bedingt 1. durch die Temperatur des Kältebades, 2. durch die Wärmebildung beim Rühren, 3. durch etwaige zu geringe Mengen angewandter Flüssigkeit, 4. durch die Tiefe der Unterkühlungstemperatur, ehe Gefrieren eintritt.

Nach der von Nernst und Abegg entwickelten Theorie über die Einstellung des Gleichgewichtes beim Gefrieren liegt die feste Einstellung des Thermometers nicht bei der wahren Gefriertemperatur T_0, sondern bei einer mehr oder weniger davon verschieden scheinbaren Gefriertemperatur $= t^1$. Die Größe der Abweichung wird durch die Formel ausgedrückt

$$t^1 = T_0 \frac{k}{K} (t^1 - t_0);$$

t_0 ist diejenige Temperatur, der die Lösung zustreben würde, wenn kein Gefrieren stattfinden würde und wird als „Konvergenztemperatur" bezeichnet. K ist eine Konstante, welche der Gesamtoberfläche des festen Lösungsmittels und seiner Schmelzwärme direkt proportional ist. k ist eine Konstante, die um so kleiner ist, je größer das Verhältnis von Wärmekapazität der Lösungsmasse zur Oberfläche ist. Die scheinbare fällt nur dann mit der wahren Gefriertemperatur zusammen, wenn

$$\text{oder } \begin{matrix} t_0 = T_0 \\ K = \varphi \end{matrix} \text{ ist.}$$

Nach Raoult entspricht scheinbarer Gefrierpunkt t^1 dem Zeitmoment, wo die Abkühlungsgeschwindigkeit V, welche durch die Ausstrahlung nach dem Kältebad bewirkt wird, gleich ist der Erwärmungsgeschwindigkeit R, welche in der Eisbildung ihre Ursache hat.

Es sei K die Erwärmungsgeschwindigkeit durch Eisbildung, wenn die Überkaltung 1^0 beträgt, wenn nun $V = R$, so ist

$$V = K \quad (T_0 - t^1)$$

$$T_0 = t^1 + \frac{V}{K}.$$

Das Korrektionsglied $\frac{V}{K}$ kann sehr klein gemacht werden, d. h. der scheinbare und der wirkliche Gefrierpunkt gleich werden, wenn entweder K sehr groß oder V sehr klein wird. V wird Null, somit auch $\frac{V}{K}$, wenn die oben definierte Konvergenztemperatur des Gefriergefäßes mit der Temperatur, bei der das Gefrieren stattfinden soll, zusammenfällt.

Die hierzu nötige Bestimmung der Konvergenztemperatur wird folgendermaßen ausgeführt (Raoult): Man bringt das Gefriergefäß in das

innere Rohr des Kältebades, bringt es auf die gewünschte Temperatur und erteilt dem Rührer eine gleichmäßige und bestimmte Geschwindigkeit. Man bringt das Kältebad auf fast dieselbe Temperatur, darauf wartet man, daß sowohl das Thermometer im Gefriergefäß, wie das im Kältebade einen regelmäßigen Gang annimmt. Steigt das Thermometer des Gefriergefäßes, so kühlt man das Kältebad langsam ab. Das Thermometer des Gefriergefäßes verlangsamt sein Ansteigen, steht darauf still und sinkt später. Der Moment, wo es stationär ist, zeigt einen ersten, ein wenig zu großen Wert für den Überschuß der Konvergenztemperatur über die Temperatur der Kältemischung. Um einen zweiten Wert dieser Größe zu haben, erwärmt man die Kältemischung sehr langsam. Das im Sinken begriffene Thermometer im Gefriergefäß verlangsamt sein Sinken, bleibt darauf einige Zeit stationär und steigt dann wieder. Das Mittel zwischen diesem etwas zu kleinen stationären Wert und dem früheren gibt die gesuchte Größe. Der Unterschied zwischen der Konvergenztemperatur und der Temperatur des Kältebades hängt vor allem von der Geschwindigkeit des Rührens ab.

Dadurch, daß die Konvergenztemperatur des Gefriergefäßes mit der Temperatur, bei der das Gefrieren stattfinden soll, zusammenfällt, eliminiert man nicht allein den Einfluß der Kältemischung, sondern auch den Einfluß der direkten Strahlung der Umhüllung auf das Thermometer. Es ist dann auch der Einfluß der Temperatur der Kältemischung vollständig eliminiert.

Während des Versuchs vergewissert man sich darüber, ob wirklich die Konvergenztemperatur mit der Gefriertemperatur zusammenfällt, indem man nach Eintreten des Gefrierens das Thermometer eine Viertelstunde lang alle 3—4 Minuten beobachtet. Die Temperatur muß konstant bleiben, was beweist, daß die Konzentration der Lösung sich nicht ändert, daß die Menge des entstandenen Eises unverändert bleibt, daß die Flüssigkeit weder Wärme verliert noch gewinnt.

Die Überkaltung der Lösung im Momente des Impfens ist von Einfluß auf die Menge von Eis, welche sich ausscheidet. Durch die Ausscheidung von Eis wird aber die Lösung konzentrierter als vorher, man erfährt also die Gefriertemperatur einer konzentrierten Lösung als die ursprüngliche. Die Menge (r), welche ausfriert, ist durch die Formel gegeben

$$r = \frac{c\,\vartheta}{\lambda},$$

wo c = spezifische Wärme der Flüssigkeit (für Wasser $= 1^0$), ϑ die Überkaltung in Celsiusgraden, λ die Schmelzwärme des Eises $= 80^0$ ist. Für jeden Grad Überkaltung konzentriert sich bei wäßrigen Flüssigkeiten daher die Lösung um $^1/_{80} = 0.0125$.

B. Präzisionskryoskopie nach Raoult.

Der aus der Abbildung (Fig. 14) im wesentlichen verständliche Apparat von Raoult, welcher wohl der handlichste der für die Präzisionskryoskopie empfohlenen sein dürfte, besteht aus einem Kältebad (B), welches mit Äther gefüllt ist, dem Gefriergefäß (C) und enthält Vorrichtungen zum Durchsaugen von Luft durch den Äther behufs Abkühlung und Rührwerk. Die Luft tritt durch das Chlorkalziumrohr und die Röhren o und r aus ein feinen Löchern in das Kältebad B ein und geht durch A zur Pumpe. Durch Regulieren der Geschwindigkeit des Luftstroms kann der Äther mehr oder weniger stark abgekühlt werden; hingegen kann durch Hineinpressen von zimmerwarmem Äther aus D die Tem-

peratur in B wieder erhöht werden. Das Kältebad ist behufs Isolierung in ein mit dickem Filz bekleidetes großes Glasgefäß eingesetzt. Das Kältebad B wird durch ein Gemenge von Gelatine und Glyzerin gedichtet. Das Gefriergefäß trägt eine Marke,

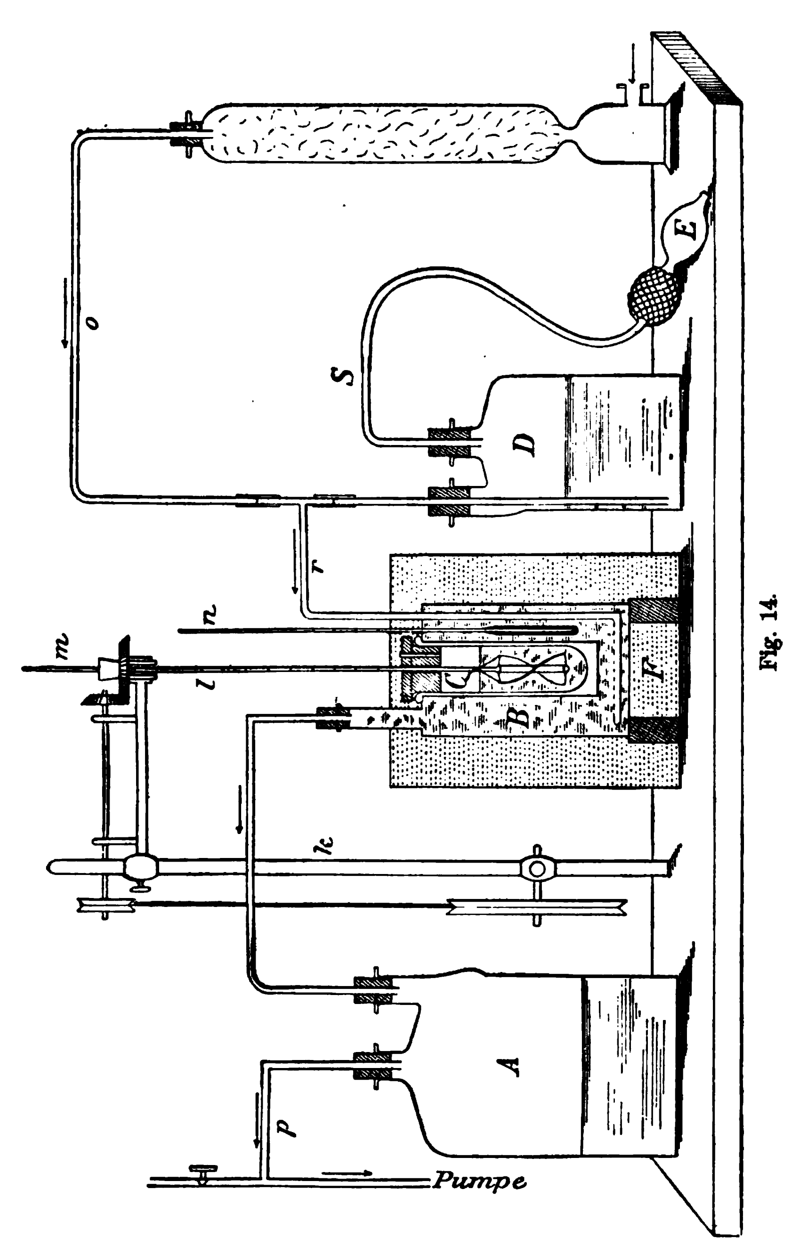


Fig. 14.

welche das Volum 125 cm³ angibt, womit die Bestimmungen stets gemacht werden sollen. Das Gefriergefäß wird zur Isolierung nach dem Verstopfen mit 6 durchlochten großen Scheiben aus Tuch bedeckt. Der Rührer, ein Rotationsrührer, besteht aus einer

Schnecke aus Platinblech, welche das Gefäß des Thermometers umgibt und mit ihm zusammen rotiert. (Siehe Abbildung.) Der Rotationsrührer hat vor dem Rührer mit vertikaler Bewegung voraus, daß er die Eiskristallchen in der ganzen Flüssigkeit verteilt und deren Ansammlung an der Oberfläche verhindert und nicht mit der anders temperierten Luft außerhalb der Flüssigkeit in Berührung kommt.

Die Ausführung der Versuche ist nach Raoult folgende:

Gefrierpunkt des Wassers. Es ist nötig, anfangs den Gefrierpunkt von reinem Wasser zu bestimmen. Zu diesem Zwecke nimmt man ein Gefriergefäß und gießt 125 ccm gewöhnlichen reinen Wassers hinein. Man verschließt das Gefäß mit einem großen, reinen und trockenen Gummistopfen und bringt es in ein Gefäß mit einem Gemenge von Eis und Wasser, wo es sich auf 0° abkühlt.

Währenddessen läßt man durch den Äther des Kühlmantels zwecks Abkühlung einen Strom trockener Luft durchstreichen. Sobald die Temperatur auf 5 oder 6° unter Null gesunken ist, nimmt man das Gefriergefäß mit dem auf 0° abgekühlten Wasser aus dem schmelzenden Eis, trocknet es mit Fließpapier und bringt es in das innere Rohr des Kältebades.

Darauf führt man von oben das Thermometerreservoir durch die Öffnung des horizontalen Zahnrades und befestigt daran den Platinrührer, nachdem derselbe zuvor ausgewaschen und ausgeglüht worden ist. Das System wird in das Gefriergefäß gesenkt und der konische Pfropfen, mit welchem das obere Ende des Thermometerstieles versehen ist, in die Öffnung des Zahnrades ohne besonderen Druck hineingesetzt. Das Gefriergefäß wird jetzt mit dem geteilten Stopfen, den man vorher gut gereinigt hat, verschlossen. Man bringt jetzt die sechs Tuchscheiben auf den Stopfen und vergewissert sich, daß der Thermometerstiel gut senkrecht steht. Endlich versetzt man das Thermometer in Rotation um seine Axe, indem man das System der Zahnräder mit Hilfe einer Turbine in Bewegung bringt. Anfangs läßt man das Thermometer nur mit einer mäßigen Geschwindigkeit rotieren, damit die Überkaltung nicht von selbst aufgehoben wird.

Wenn die Überkaltung des Wassers 0,5° erreicht hat, wird das Kältebad rasch erwärmt, indem man einen Ätherstrom von mehr als + 10° durchtreibt. Von Zeit zu Zeit wird ein starker Luftstrom durchgejagt, um die einzelnen Schichten gut durchzumischen. Dem mit Rührer versehenen Thermometer wird eine Geschwindigkeit von fünf Umdrehungen pro Sekunde erteilt und diese Geschwindigkeit während der Dauer des Versuchs genau eingehalten. Die Geschwindigkeit des Luftstroms wird jetzt verringert und so einreguliert, daß der Äther eine Temperatur annimmt, die um 0,1° niedriger als der Gefrierpunkt des Wassers ist. Diese Temperatur wird auf ca. 0,02—0,03° genau bis zum Ende des Versuchs konstant gehalten. Der Versuch zeigt, daß unter diesen Umständen im Moment des Gefrierens ein Temperaturgleichgewicht zwischen dem Kältebad und dem Inhalte des Gefriergefäßes vorhanden ist.

In diesem Moment notiert man genau den Stand des Gefrierthermometers und bringt in das zu untersuchende Wasser ein Eispartikelchen hinein. Das Thermometer steigt anfangs sehr rasch, darauf langsamer und stellt sich nach einigen Minuten stationär ein. Nach fünf Minuten wird die Temperatur notiert und alle 2—3 Minuten, während mindestens einer Viertelstunde, abgelesen.

Im allgemeinen sind diese Ablesungen bis auf 0,0002—0,0003° identisch; sind sie nicht vollständig identisch, so nimmt man das Mittel. Man erhält auf diese Weise den Gefrierpunkt des reinen Wassers.

Zum Schlusse notiert man den Atmosphärendruck und die Temperatur der Luft in der Nähe der Mitte des aus der Flüssigkeit herausragenden Teiles des Thermometerstieles.

Wenn der Versuch beendet ist, so arretiert man den Rührer, nimmt das Thermometer aus dem Gefriergefäß heraus und hakt den Platinrührer vom Thermometer ab. Man vergewissert sich, daß der Rührer auf seiner ganzen Oberfläche mit Eiskristallen bedeckt ist; man nimmt das Thermometer fort, wäscht es mit kaltem Wasser und hängt es unmittelbar darauf in einen Eisschrank von 0°. Darauf entfernt man das Gefriergefäß, untersucht seinen Inhalt, wäscht es und trocknet es.

Gefrierpunkt der Lösung. Wenn der Gefrierpunkt des reinen Wassers, wie soeben beschrieben, gefunden ist, so bestimmt man auf die gleiche Weise den Gefrierpunkt der zu untersuchenden Lösung. Wie beim Wasser, so beträgt auch hier die Überkaltung 0.5°; die Umdrehungsgeschwindigkeit des Thermometers ist ebenfalls fünf Umdrehungen pro Sekunde. Der ganze Unterschied besteht darin, daß die Temperatur des Kältebades im Moment des Gefrierens nicht 0,1° unter Null, wie beim Wasser, sondern 0,1° unter der Gefriertemperatur der Lösung ist. Diese letztere wird sehr angenähert durch einen Vorversuch festgestellt.

Wie beim Wasser beginnt man mit den Temperaturablesungen fünf Minuten, nachdem das Gefrieren hervorgerufen worden ist, und macht während mindestens einer Viertelstunde alle 2—3 Minuten eine Ablesung. Die einzelnen Ablesungen sollen Zahlen, die bis auf 0,0002 oder 0,0003° identisch sind, geben. Diese Konstanz beweist, daß unter den erwähnten Umständen die Menge des entstandenen Eises sich mit der Zeit nicht ändert, und daß folglich das Gefriergefäß weder Wärme aufnimmt, noch abgibt. Wenn es sich um sehr kleine Abweichungen handelt, so nimmt man das Mittel aus den gefundenen Zahlen. Man erhält auf diese Weise den Gefrierpunkt des flüssig gebliebenen Anteils der Lösung.

Um — bei sehr genauen Versuchen — den Einfluß der Luftdruck und Lufttemperaturveränderungen auf den Nullpunkt zu eliminieren, läßt man dem Versuch mit der Lösung eine zweite Bestimmung des Gefrierpunktes des Wassers folgen.

Sehr häufig gibt diese zweite Gefrierpunktsbestimmung von reinem Wasser eine Zahl, welche um 0,0002—0,0003° mit der Temperatur der ersten Bestimmung differiert. Man nimmt als Gefrierpunkt des Wassers das Mittel aus diesen beiden Werten an.

Mit Hilfe dieser Raoultschen Methode der Präzisionskryoskopie läßt sich die Gefrierpunktserniedrigung verdünnter wässriger Lösungen mit einer Genauigkeit von 0,001° bestimmen. Mit dem hier nicht beschriebenen Apparate von Nernst und Abegg erhält man ein gleich genaues Resultat. [Eine Modifikation des Raoultschen Apparates stammt von Ponsot].

C. Präzisionskryoskopisches Verfahren mit dem Beckmannschen Apparat, mit besonderer Berücksichtigung der physiologischen Bedürfnisse.

Mit dem Beckmannschen Apparate lassen sich auch die Anforderungen der Präzisionskryoskopie erfüllen. Beckmann hat seinen ursprünglichen Apparat den Bedürfnissen entsprechend modifiziert und unabhängig von ihm hat Th. Cohn das vereinfachte präzisionskryoskopische Verfahren zu biologischen Zwecken eingerichtet. Zunächst einmal wird das Rühren von einem elektromagnetischen oder mechanischen Rührer besorgt; ersterer ist vorzuziehen. Die hierzu nötigen Stromquellen und Unterbrecher sind sowieso in jedem physiologischen Laboratorium vorhanden. Die Konvergenztemperatur wird bestimmt, indem man das Kühlbad etwa 1—2° unter den voraussichtlichen Gefrierpunkt hält und die Temperatur ermittelt, bei der sich das Thermometer unter beständigem Rühren ohne Impfen einstellt. Die Flüssigkeit wird dann durch Einimpfen zum Gefrieren gebracht und der Gefrierpunkt auf diese Weise angenähert gefunden. Die Temperatur des Kältebades wird nun um die zwischen Konvergenztemperatur und Gefriertemperatur gefundene Differenz erhöht. An Stelle der äußeren Kühlflüssigkeit mit veränderlicher Temperatur können Kryohydrate mit konstanter Temperatur verwendet werden.

Tabelle von Kryohydraten.

Eis und Alaun	— 0.47
„ „ Natriumsulfat	— 0.7
„ „ Kaliumdichromat	— 1.0

Eis und	Kaliumsulfat	— 1.5
„ „	Kupfersulfat	— 2.0
„ „	Eisensulfat	
„ „	Kaliumnitrat	— 3.0
„ „	Zinksulfat	— 5.0

Das die Kryohydratmischung enthaltende Gefäß wird in ein größeres Gefäß gesetzt, in welchem sich die Kältemischung von etwas niedrigerer Temperatur befindet. Zur Vorkühlung wird das Gefrierrohr in ein anderes Kältebad gebracht, dessen Temperatur 3°—3,5° unter der Gefrierpunkttemperatur liegt. Die Unterkühlung soll 1—1,5° betragen, worauf das Gefrierrohr in das auf die korrigierte Konvergenztemperatur gebrachte Bad gebracht wird; nach 2 Minuten impft man. Zur Impfung werden kleine Stickperlen von 2.5—3 mm Durchmesser benutzt; diese kommen in ein im Kältebad stehendes Probierröhrchen, welches mit destilliertem Wasser gefüllt ist. Die kleine in der Sticköffnung befindliche Eismenge dient zum Impfen; sie ist wegen ihrer Lage vor raschem Schmelzen geschützt. Der elektromagnetische Rührer soll dann im selben Tempo rühren, wie bei der Bestimmung der Konvergenztemperatur. Nach Cohn darf auch die Feststellung des höchsten Hg-Standes nicht dem subjektiven Dafürhalten des Beobachters überlassen bleiben, vielmehr muß von einer neben dem Apparat hängenden Sekundenuhr der Zeitpunkt der Impfung und alle 1—2 Minuten danach der jedesmalige Thermometerstand nach vorherigem Beklopfen des oberen Thermometerendes in der Richtung der Längsachse abgelesen und notiert werden, bis der höchste Punkt mit einer Konstanz von 3—4 Minuten erreicht ist; dazu braucht man durchschnittlich 7—10 Minuten, bei Wasser und wäßrigen Lösungen weniger, bei eiweißhaltigen, serösen Flüssigkeiten mehr. Der Konzentrationsänderung der Lösung durch Ausscheidung von Eis trägt man durch Benutzung der oben (S. 146) angegebenen Formel Rechnung. Cohn schlägt auch bei Anwendung dieser Methode vor, die Gefrierpunktserniedrigung einer 1% Kochsalzlösung zu bestimmen als Kontrolle der Genauigkeit; er erhielt hierfür den Wert —0.590° (Raoult und Abegg 0.589°).

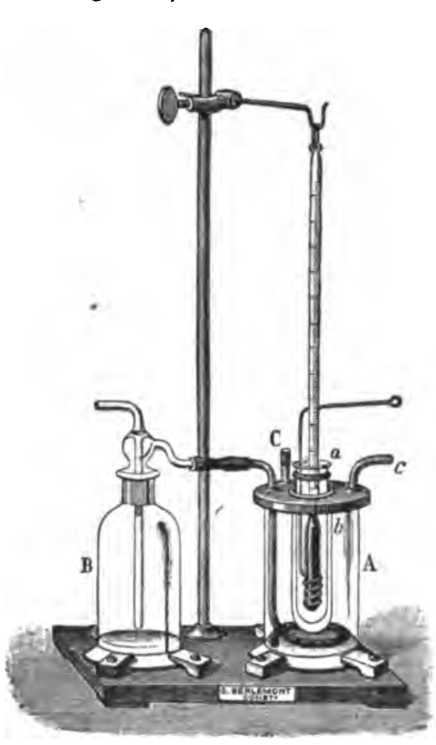


Fig. 15.

Diese Methode vereinigt in sich praktisch die Anforderungen der Präzisionskryoskopie und die Möglichkeit, mit den in den meisten physiologischen Untersuchungen zur Verfügung stehenden Mengen (5—10 cm³) auszukommen.

Nicht zu umgehen ist die Zeit, welche die Untersuchung beansprucht, nämlich 1—1 $^1/_2$ Stunden für 3 Bestimmungen des Eispunktes und drei bis vier Bestimmungen der Lösung.

D. Apparat von Claude und Balthazard.

Ein einfacher Apparat, der sich gleichfalls der Ätherkühlung bedient, haben Claude und Balthazard angegeben. Derselbe ist aus beifolgender Figur verständlich (Fig. 15).

Derselbe eignet sich zwar nicht für die Präzisionskryoskopie, gestattet aber durch Regulation des Luftstromes durch den Äther die Temperatur des Kältebades konstant auf einem gewünschten Grad zu erhalten und liefert sehr brauchbare Resultate.

E. Methode von Prytz zur Bestimmung des Gefrierpunktes bei konstanter Temperatur.

Die Methode von Prytz geht von der Erwägung aus, daß der Gefrierpunkt einer Lösung definiert ist als die für Lösung und Eis gemeinsame Temperatur, bei welcher weder Gefrieren noch Schmelzen stattfindet, wenn Eis und Lösung zusammengebracht werden, vorausgesetzt daß kein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet. Ist die gemeinsame Temperatur zu hoch, so tritt Fall, ist sie zu tief, tritt Steigerung der Temperatur ein, während der Gefrierpunkt die für Eis und Lösung gemeinsame Temperatur ist, welche nicht durch das Zusammenbringen beider geändert wird.

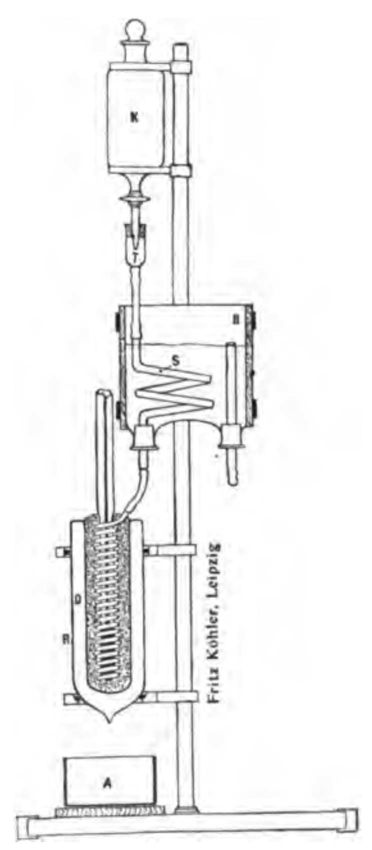


Fig. 16.

Eine Messingröhre (Fig. 16) von 2,7 mm äußerem Diameter wird nach einer Schraubenlinie gebogen. In der obersten Windung der Röhrenspirale, welche 30 Windungen hat und ungefähr 18 cm lang ist, während der innere Diameter 1,6 cm groß ist, wird ein Beckmannsches in $^1/_{100}$ Grad eingeteiltes Thermometer so befestigt, daß sein Gefäß 1,5 cm über dem unteren Ende der Spirale steht. Das mit der Röhrenspirale versehene Thermometer wird in einem Dewarschen Gefäß mit versilberten Doppelwänden, D, so angebracht, daß die nach unten gekehrte Mündung der Spirale wenige Millimeter über dem Boden des Gefäßes steht. Das obere Ende der Messingröhre, welches sich ungefähr 2 cm unter dem Rande des Gefäßes befindet, wird mit einer Kautschukröhre nach oben fortgesetzt. Fein geschabtes, ziemlich trockenes Eis wird in das ca. 6 cm weite Gefäß hineingebracht und rings um die Spirale mittels eines Holzstäbchens mäßig fest gestampft; der kleine Abstand zwischen den Windungen hindert, daß das Eis in den Zwischenraum zwischen Thermometer und Spirale hineindringt. Nun wird die Lösung in die Röhrenspirale hineingesandt; sie tritt zuerst in das Eis am Boden hinein und steigt durch die oberen Eisschichten und durch den eisfreien Raum innerhalb der Spirale empor. Zuletzt erscheint die Lösung am Rande des Gefäßes. Die Strömungsgeschwindigkeit der Lösung ist so abzumessen, daß das Gefäß in 20—30 Minuten

gefüllt wird. Nach der Füllung wird die Geschwindigkeit bis ca. 2 ccm pro Minute und nach weiteren 20 Minuten bis ca. 0,6 ccm hinabgesetzt. Die überschüssige Flüssigkeit geht über dem Rande des Gefäßes ab. Die Lösung strömt vom Behälter K aus; durch die Tropfenbildung in der Röhre r schätzt man die Geschwindigkeit, welche durch den Quetschhahn h reguliert wird. Im Bade B wird die Lösung ungefähr bis zu ihrem Gefrierpunkte vorgekühlt. Wenn das Eis mit der Lösung getränkt worden ist, wird schon die ganze Masse eine Temperatur haben, welche dem Gefrierpunkt sehr nahe liegt; diese Temperatur nimmt die ferner zuströmende Lösung in der Röhrenspirale an; indem sie in das Eis am Boden hineintritt, findet eine weitere Abkühlung statt, so daß die Temperatur dem Gefrierpunkt asymptotisch sich annähert. Beobachtet man das Thermometer während der Einströmung der Lösung, so findet man, daß die Temperatur anfangs schnell sinkt, so daß das Thermometer nach 12—15 Minuten bis auf wenige Tausendstel Grad seinen endlichen Stand angenommen hat; danach folgt ein äußerst langsamer Temperaturfall; 25—30 Minuten nach der Einfüllung der Lösung ist die Temperatur konstant geworden und hält sich so beliebig lange Zeit hindurch.

Der Apparat von Prytz gibt sehr genaue Resultate. Einer allgemeinen Anwendung zu physiologischen Zwecken steht der Umstand im Wege, daß man mindestens 80 cm^3 Flüssigkeit braucht. Da, wo diese Mengen zur Verfügung stehen, wäre diese Methode sehr zu empfehlen.

Anwendung der Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung.

Die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung dient, wie oben auseinandergesetzt wurde, zur Ermittelung der Konzentration und zur Ermittlung des osmotischen Druckes. Die Methode wird in zweierlei verschiedener Weise benutzt, ein Mal als eine relative, das andere Mal als eine absolute. Bei der Anwendung zur Erlangung von relativen Werten geht man von einer Ausgangslösung aus, entweder einer Körperflüssigkeit oder einer dem Körper künstlich zuzuführenden Flüssigkeit, ermittelt deren Gefrierpunktserniedrigung und darauf die im Verlaufe eines Experimentes eintretenden Veränderungen der Gefrierpunktserniedrigung. Man wird sich hierzu des Beckmannschen Apparates in der oben beschriebenen zu physiologischen Zwecken eingerichteten Form bedienen, erstens, weil er rascher und einfacher arbeitet, zweitens weil er nur geringer Mengen Flüssigkeit bedarf und drittens, weil die damit erhaltenen Werte, wenn man alle oben beschriebenen Vorsichtsmaßregeln innehält, hinreichend genau für vergleichende Zwecke sind. Bei jeder einzelnen Bestimmung kann der Fehler der einfachen Methode gegenüber der Präzisionskryoskopie annähernd gleich sein, so daß der Unterschied in den Gefrierpunktserniedrigungen, auf welche es hierbei ankommt, richtig ermittelt wird. Nicht hinreichend genau ist die Methode, wenn es sich nicht um Vergleiche, sondern um eine einzige absolute Bestimmung handelt. Hier wäre die Präzisionskryoskopie erforderlich unter Benutzung aller Kautelen.

Oben in der theoretischen Einleitung wurde gezeigt, in welcher Weise durch die Gefrierpunktserniedrigung die molekulare Konzentration gefunden wird. Handelt es sich also darum, in einer Lösung von Nichtelektrolyten die molekulare Konzentration zu kennen, beziehentlich eine bekannte Konzentration herzustellen, so ist die Ermittelung der Gefrierpunktserniedrigung das einfachste und sicherste Verfahren. Bei den im Organismus vorkommenden Flüssigkeiten erfährt man, weil ausnahmslos Elektrolyte vorhanden sind, nur die osmotische Konzentration (siehe oben). Die Genauigkeit

dieser Bestimmung ist folgende: $\triangle^0$ einer Kochsalzlösung von 1 %, d. h. von $^1/_{58}$ osmotischer Konzentration, ist 0,59. Wäre der Fehler der Bestimmung 0.01 Grad, so käme auf diesen Wert $\frac{1}{58 \times 59}$ osmotische Konzentration als Fehler oder in Prozenten (unter Nichtberücksichtigung der Dissoziation) 0.017 Proz. Kochsalzlösung. Der Fehler ist etwa der bei der chemischen Analyse von nicht sehr großer Genauigkeit vorkommender. Der auf Prozentgehalt berechnete Fehler ist bei einer Fehlergrenze von 0.01 bei einer Gefrierpunktsbestimmung bei Körpern von größerem Molekulargewicht z. B. bei Rohrzucker noch größer = 0.18 %. Insofern die in den tierischen Flüssigkeiten vorkommenden Mengen von Stoffen hohen Molekulargewichts der Art sind, daß sie selbst einen verschwindend kleinen Einfluß auf die Gefrierpunktserniedrigung ausüben (z. B. beim Serum), ist die Ermittlung der osmotischen Konzentration mit Hilfe der Gefrierpunktserniedrigung eine zuverlässige, umsomehr als verschiedene Untersucher (z. B. Hamburger und Th. Cohn) unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Präzisionskryoskopie, eine Genauigkeitsgrenze von 0.0025 erhielten. Die Genauigkeit läßt sich namentlich auch erreichen bei Anwendung des Beckmannschen Apparates in seiner neuen Form (siehe oben) mit Flüssigkeitsmengen von 10—5 cm³. Nicht sehr groß ist die Genauigkeit, mit welcher, wie oben gezeigt wurde, der osmotische Druck aus der Gefrierpunktserniedrigung ermittelt werden kann. Denn selbst die besten in der Physiologie möglichen Methoden können nicht über 0.001° Genauigkeit geben, das ist aber = 9.1 mm Hg Druck, ein Wert, der mit einem Manometer sehr leicht meßbar ist. Diese geringe Genauigkeit ist ein Grund (neben den früher auseinandergesetzten), weshalb der osmotische Druck von Substanzen mit sehr hohem Molekulargewicht, insbesondere also der Kolloide, mit Hilfe der Gefrierpunktserniedrigung sich nicht genau ermitteln läßt. Aus demselben Grunde ist ein aus der Gefrierpunktserniedrigung gefundener Wert des osmotischen Druckes zu Rückschlüssen bei den im Organismus sich abspielenden Prozessen nur in beschränktem Maße zulässig. Hierzu kommt noch, daß die Gefrierpunktserniedrigung nur Aufschluß gibt über den osmotischen Druck der Lösung bei ihrem Gefrierpunkte; der osmotische Druck bei Körpertemperatur ist ein höherer und der Temperaturzuwachs läßt sich wegen der Zusammensetzung der Körperflüssigkeiten aus Elektrolyten und Nichtelektrolyten nicht aus den Daten der Kryoskopie berechnen.

Wertvoll ist die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung bei allen physiologischen Untersuchungen, bei denen es sich um die Beziehungen zwischen zwei durch eine Membran getrennte Flüssigkeiten handelt, z. B. einerseits das Blut, andrerseits die Lymphe, oder ein Sekret oder ein Exkret oder ein Transsudat, oder eine künstlich eingeführte Flüssigkeit. Es kommt hierbei darauf an, erstens den kryoskopischen Unterschied zwischen dem Blut und einer der genannten Flüssigkeiten, und zweitens die Größe und Richtung der Veränderung des Gefrierpunktes bei experimentellen Eingriffen in beiden festzustellen.

Die Daten über die osmotische Konzentration, welche hierbei erhalten werden, geben darüber Aufschluß, ob und in welchem Umfange osmotische

Vorgänge bei den untersuchten physiologischen Prozessen im Spiele sind oder ob entgegen den osmotischen Kräften Arbeit geleistet wurde.

Berechnung der geleisteten osmotischen Arbeit aus der Gefrierpunktserniedrigung.

Dreser erkannte zuerst, daß auf Grund der van't Hoffschen Lösungstheorie aus den Gefrierpunktserniedrigungen des Blutes und eines aus dem Blute entstehenden Sekretes (Harn) die osmotische Arbeit berechnet werden könnte, welche bei der Herstellung des betreffenden Sekretes geleistet wird. Darauf folgten Galeotti und v. Rhorer. Unterschied im Gefrierpunkt bedeutet Unterschied in der osmotischen Konzentration; diesem Unterschied entspricht wiederum ein Unterschied im osmotischen Druck. Im Falle von Konzentrationsdifferenz ist der osmotische Druckunterschied bestrebt, diesen auszugleichen; die Existenz des Unterschiedes ist ein Beweis dafür, daß gegen die Kraft des Druckunterschiedes eine Arbeit geleistet worden ist. Der Ansatz, welcher auf Grund der Lösungstheorie (Gültigkeit der Gasgegesetze für Lösungen) für die Berechnung der Arbeit zu machen ist, ist folgender: Um aus einer weniger konzentrierten Lösung eine mehr konzentrierte zu machen oder, anders ausgedrückt, um das Volumen einer gegebenen Lösung auf einen niedrigeren Betrag zu komprimieren, ist Arbeit notwendig; ebenso ist Arbeit notwendig, um aus einer konzentrierten eine weniger konzentrierte zu liefern, indem gegen die Wirkung des osmotischen Druckes Wasser aus der konzentrierten in die verdünntere Lösung gepreßt werden muß; dieses Verhalten läßt sich demnach wie das vorige zurückführen auf den Fall der Kompression einer Lösung von einem größeren zu einem kleineren Volum. Die Formel für diese Arbeit ist:

$$A = RT \text{ lognat } \frac{v_1}{v_2} = 2.303 \text{ RT log } \frac{v_1}{v_2} = 2.303 \text{ RT log } \frac{\Delta_2{}^0}{\Delta_1{}^0}$$

$$\text{(es ist } \frac{v_1}{v_2} = \frac{c_2}{c_1} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_2}{\Delta_1{}^0};$$

R = 0.0821 Literatmosphären = 1.991 Kal = 0,848 Meterkilogr.).

Für $T = 37^0$

$$\text{ist } A = 58{,}61 \log \frac{\Delta_2{}^0}{\Delta_1{}^0} \text{ Literatmosphären} = 1427{,}4 \log \frac{\Delta_2{}^0}{\Delta_1{}^0} \text{ Grammkalorien} =$$

$$605{,}5 \log \frac{\Delta_2{}^0}{\Delta_1{}^0} \text{ Meterkilogramm.}$$

Diese Formel gilt für den Fall, daß in der hergestellten Lösung im Volumen 1 Mol. osmotische Konzentration vorhanden ist; das wird im allgemeinen nicht der Fall sein; die osmotische Molkonzentration wird aus der Gefrierpunktserniedrigung gefunden und ergibt sich zu $n = \frac{\Delta^0 v_2}{1{,}85}$, wo v_2 das Volumen des gebildeten Sekretes ist. Demnach lautet die Formel

$$A = \frac{\Delta^0 v_2}{1{,}85} \, 58{,}61 \log \frac{\Delta_2{}^0}{\Delta_1{}^0} \text{ Literatmosphäre u. s. w.}$$

Die Werte, welche man mit Hilfe dieses Ansatzes erhält, sind aber nicht genau. Erstens müßte man, wie v. Rhorer gezeigt hat, die partiellen Konzentrationen der Sekretbestandteile kennen und für diese einzeln die

Rechnung durchführen. Berechnet man z. B. die osmotische Arbeit bei der Harnbereitung auf Grund der Kochsalz- und Harnstoffgehalte eines bestimmten Harnes, so bekommt man viel größere Werte. Die partiellen Konzentrationen der Sekrete sind nur zum Teil bekannt. Zweitens bleibt bei der Bildung eines konzentrierten Harnes aus dem weniger konzentrierten Blute Wasser im Blute zur Verdünnung des Blutes übrig. Diese Tatsache kann man auch so ausdrücken, daß man sagt, die im Blute gelösten Moleküle dehnen sich bei einem konstanten Druck ($0.56^0 \Delta^0$) auf ein größeres Volumen aus, was einen entsprechenden Arbeitsgewinn ausmacht. Dieser Arbeitsgewinn muß von der oben berechneten Arbeit abgezogen werden. Drittens, bei der Bildung eines Sekretes geringerer Konzentration als das Blut gehen feste Bestandteile vom Blut in das Sekret, also vom Ort hoher zu niederer Konzentration über, wodurch Arbeit verrichtet wird, die von der osmotischen Arbeit der Drüse abzuziehen ist. (Das nähere siehe bei v. Rhorer.) Viertens gelten die zugrunde gelegten Formeln für den Spezialfall, daß die Arbeit isotherm verrichtet wird. Dieser Spezialfall ist nicht im Organismus streng verwirklicht, da in vielen Drüsen Wärme gebildet wird. Schließlich muß betont werden, daß auf dem geschilderten Wege nur die osmotische Arbeit einer Drüse, nicht aber die Gesamtarbeit gefunden wird.

Die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung irgend einer dem tierischen Organismus entstammenden Flüssigkeit ohne Vergleich mit einer anderen kann ferner angewendet werden, wenn die normale osmotische Konzentration mit hinreichender Sicherheit bekannt ist. Für einige ist das der Fall, z. B. für das Blut. Sollen diese Bestimmungen einen Wert haben, so müssen sie mit einer Methode gemacht werden, welche den Anforderungen der Präzisionskryoskopie genügen.

Abgesehen von den hier genannten Fällen gewinnt die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung erst Wert in Verbindung mit anderen, später folgenden Methoden. Vor Überschätzung einer bloßen Gefrierpunktsbestimmung muß gewarnt werden; sie leistet oft nicht mehr, manchmal weniger als die chemische Bestimmung gewisser Bestandteile der Körperflüssigkeiten.

Anwendung der Gefrierpunktsbestimmung im einzelnen.

1. **Blut.** Zur Gefrierpunktsbestimmung des Blutes kann man Serum, defibriniertes oder Gesamtblut benutzen. Die bisher mit genauesten Methoden gewonnenen Werte ergeben Unterschiede des Gefrierpunktes, welche als innerhalb der Fehlergrenzen der Methode liegende kaum zu berücksichtigen wären; zudem haben Hamburger und Hedin nachgewiesen, daß defibriniertes Blut und entsprechendes Serum äquimolekular sind. Die Benutzung von Serum, wo angängig, ist vorzuziehen, weil der Ausgleich zwischen Eis und Flüssigkeit sich leichter herstellt und man die Eisbildung im durchsichtigen Serum besser verfolgen kann. Hingegen ist die Art der Gewinnung des Blutes auf den Gefrierpunkt von Einfluß; die Präzisionskryoskopie zeigt Unterschiede zwischen dem spontan abgesetzten und dem durch Zentrifugieren gewonnenen. Ferner ergeben sich Unterschiede zwischen arteriellem und venösem Blute; letzteres ist konzentrierter. Da in einer Flüssigkeit gelöste Gase wie andere gelöste Bestandteile Einfluß auf die Gefrierpunktserniedrigung haben, hat auch jeder Eingriff, der den Gehalt des Blutes an

gelöstem Gas verändert, Folgen für die Gefrierpunktserniedrigung des betreffenden Blutes. Narkose und Vergiftungen sind in dieser Beziehung zu berücksichtigen. Die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung am menschlichen Blute ist vor allem aus praktischen Gründen eingehend diskutiert worden. Die praktische Seite muß hier übergangen werden. Wo diese Bestimmung in der Physiologie angewandt wird, gelten dieselben Vorschriften wie für die klinische Verwertung. Meist wird es sich darum handeln, ob eine Abweichung vom normalen Gefrierpunkt vorkommt oder nicht. Deshalb muß die Bestimmung mit Hilfe der Präzisionskryoskopie gemacht werden. Dann muß vor Gewinnung des Normalwertes, wie Cohn gezeigt hat, auf die gleichmäßige Einrichtung der Lebensweise der Individuen geachtet werden. (Beobachtete Schwankungen zwischen — 0.517° und — 0.562°.)

2. Harn. Der zu Gefrierpunktsuntersuchungen dienende Harn ist entweder ein unter gewissen Experimentalbedingungen aus Fisteln gewonnener oder eine Portion eines Tagesharnes. Für den letzteren gilt, wie bei Stoffwechselversuchen, daß der gesamte, einer 24 stündigen Versuchsperiode entstammende Harn gut gemischt werde. Die voraufgegangene Ernährung und Flüssigkeitsaufnahme ist in Rücksicht zu ziehen. Der Harn soll, wegen seiner leichten Zersetzungsfähigkeit, möglichst rasch in Arbeit gezogen werden. Wird die Bestimmung des $\triangle^0$ des Harns nach einer der einfacheren Methoden gemacht, so beobachtet man öfters, daß mehrere hintereinander gewonnenen Werte nicht so gut übereinstimmen, wie z. B. beim Blute. Dies rührt daher, daß öfters der Harn nicht mehr eine sehr verdünnte Lösung ist, deren Konzentrationsänderung durch die Eisausscheidung eine nicht zu vernachlässigende Veränderung erleidet. Es ist daher nach Möglichkeit bei konzentrierten Harnen dafür zu sorgen, die Eisausscheidung bei jeder Einzelbestimmung gleich groß zu machen.

Die Gefrierpunktserniedrigung des Harnes wird in Beziehung gesetzt zu einer Reihe von auf anderen Wegen gewonnenen Werten. Es sind folgende: 1. $\frac{\triangle \times \text{Urinmenge}}{\text{Körpergewicht}}$, die sogenannte „diurèse moléculaire totale“ (Claude u. Balthazard), 2. $\triangle \times$ Urinmenge, Moleculardiurese oder „Valenzwert“ (Strauß), 3. das Verhältnis $\frac{\triangle^0}{\text{Na Cl}}$ (Koranyi), 4. $\frac{\triangle \times \text{Urinmenge}}{61{,}3}$, der von v. Koranyi als Kochsalzäquivalent bezeichnete Wert, worin 61,3 die mit 100 multiplizierte Gefrierpunktserniedrigung einer 1 % NaCl Lösung ist, 5. das Verhältnis $\frac{\triangle}{\text{spez. Gew.}}$, 6. das Verhältnis $\frac{\triangle}{N}$, wobei der Stickstoffgehalt prozentisch ausgedrückt wird. Die Gewinnung dieser Werte bedarf nach der methodischen Seite hin keiner Beschreibung. Die Diskussion der Bedeutung dieser Werte ist nicht Sache der Methodik und findet sich in der einschlägigen Literatur.

3. Milch. Nach der methodischen Seite hin ist bei der Gefrierpunktsbestimmung der Milch zu bemerken, daß darauf zu achten ist, daß beim Rühren keine Schaumbildung eintritt. Bei der Kryoskopie der Milch ist öfters eine spontane Eisbildung schon bei sehr geringer Unterkühlung zu beobachten. Die Gewinnungsart und Zeit, sowie die sonstige Beschaffenheit

(Vollmilch oder Magermilch) sind zu berücksichtigen. Da eine ziemliche Übereinstimmung über den konstanten Wert der Gefrierpunktserniedrigung der normalen Milch herrscht (Isotonie mit dem zugehörigen Blutserum) ist die Kryoskopie ein gutes Mittel, um einerseits Zusätze von Wasser oder fester Bestandteile zu erkennen, andererseits, um Veränderungen der Sekretionsverhältnisse zu untersuchen.

4. In betreff der übrigen Flüssigkeiten des tierischen Organismus bedarf es außer des Hinweises auf das im Teil I über die Gewinnung gesagten keiner besonderen Angaben.

5. Kryoskopie von Organen. An Organstücken ist die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung von Sabbatini und von Fredericq ausgebildet worden. Ein Stückchen frisches Gewebe wird in kleine Stückchen zerschnitten oder zu Brei zerrieben. Der Brei wird in das Gefrierrohr des Beckmannschen Apparates gebracht. Das Gefrierrohr wird zunächst in einem Kältebad von -3^0 bis -5^0 auf 0^0 abgekühlt und dann in den Luftmantel des Beckmannschen Apparates eingesetzt. Wenn die Temperatur etwa $^1/_2$ Grad unterhalb des erwarteten Gefrierpunktes gesunken ist, impft man mit einem Eiskristallchen. Man rührt mit einem Rührer und liest den höchsten Stand des Thermometers ab. Einer großen Genauigkeit ist natürlich diese Methode nicht fähig, gibt aber immerhin verwertbare Aufschlüsse.

Eine andere Methode besteht darin, daß aus den Geweben ein wäßriger Extrakt hergestellt wird, welches dem Gewebesaft entsprechen soll. Zu diesem Zwecke werden 30 bis 50gr. frischer Gewebe in kleine Stückchen zerschnitten und in 4 bis 8 Reagensgläser verteilt; dort sollen sie vom Boden eine Säule von 4 bis 5 Zentimeter Höhe bilden. Die Reagensgläser werden fest mit einem Kautschukstopfen verschlossen und einige Minuten lang in kochendes Wasser gehalten. Nach dem Erkalten preßt man die Stückchen mit einem abgerundeten Glasstab noch aus, mischt die Flüssigkeit durch Hin- und Herfließenlassen an den Glaswänden und filtriert schließlich. Der klare Saft wird kryoskopiert. Man erhält dieselben Werte wie mit den Organstückchen selbst. Nicht alle Gewebe eignen sich zum Auspressen, z. B. nicht das Gehirn, die Leber und die Milz vom Hund.

Abteilung 3. Bestimmung des osmotischen Druckes und der osmotischen Konzentration mit Hilfe des Tensimeters.

Prinzip: Der Dampfdruck eines Lösungsmittels wird durch darin gelöste Stoffe vermindert und zwar ist diese Verminderung proportionell der Menge gelösten Stoffes. Da die relative Dampfdrucksverminderung jeder Lösung gleich dem Verhältnis zwischen der Zahl der Mole des gelösten Stoffes und der Gesamtzahl der in der Flüssigkeit enthaltenen Mole ist, läßt sich aus jener das Molekulargewicht der gelösten Substanz sowie die molekulare, beziehentlich bei Elektrolyten, die osmotische Konzentration ermitteln. Für verdünnte Lösungen gilt:

$m = \frac{g\,M\,p}{p - p^1\,G}$, wo m das Molekulargewicht der gelösten Substanz, M dasjenige des Lösungsmittels, $\frac{p}{p - p^1}$ die relative Dampfdruckerniedrigung, g das Gewicht des gelösten Stoffes, G das Gewicht des Lösungsmittels ist.

Kennt man die Dampfdruckerniedrigung einer Lösung von bekannter Molenzahl, so kann man, wie aus der Gefrierpunktserniedrigung, in jeder Lösung mit dem gleichen Lösungsmittel durch Division der jeweilig gefundenen Dampfdruckerniedrigung in die molekulare Dampfdruckerniedrigung die Mol beziehentlich die osmotische Konzentration finden. Die Dampfdruckerniedrigung einer Lösung steht im Zusammenhang mit ihrem osmotischen Drucke; sie ist ein Anzeichen dafür, daß zur Trennung von Lösungsmittel und gelöster Substanz Arbeit gegen den osmotischen Druck geleistet werden muß. Aus der Dampfdrucksverminderung einer Lösung läßt sich ihr osmotischer Druck nach folgender Formel berechnen

$$P = \frac{p - p^1}{p} \frac{0.0821\, T\, 1000\, S}{Mo} \text{ Atm.},$$

worin p der Dampfdruck des reinen Lösungsmittels, p^1 derjenige der Lösung, T die absolute Temperatur, S das spezifische Gewicht und Mo das Molekulargewicht der gelösten Substanz, 0.0821 die Gaskonstante sind.

Physiologische Anwendung: Die tensimetrische Bestimmung der Konzentration und des osmotischen Druckes haben da, wo sie bisher angewandt wurden, gute Resultate gegeben, sie ist aber in der physikalischen Chemie keine sehr häufig geübte. Die Gründe hierfür sind, daß der Dampfdruck sehr von der Temperatur abhängig ist, der Apparat aber bei absoluten Messungen in einem sehr gut regulierbaren Thermostaten gehalten werden muß, ferner daß sehr geringe Mengen flüchtiger Bestandteile in einer Lösung den Dampfdruck stark beeinflussen und schließlich, daß die physikalische Chemie in der Methode der Siedepunktsbestimmung ein vorzügliches Mittel besitzt auf dynamischem Wege die Dampfdruckerniedrigung festzustellen. Für die Physiologie hat aber die tensimetrische Methode eine Reihe von Vorzügen, die ihre weitere Ausbildung erwünscht machen. Es kann der osmotische Druck einer Lösung bei den im Organismus vorkommenden Temperaturen untersucht werden, und nicht bloß, wie bei der Kryoskopie, bei der Gefriertemperatur der Lösung; es sind zur Bestimmung nur geringe Flüssigkeitsmengen erforderlich, beispielsweise im Friedenthalschen Differentialtensimeter eventuell nur 0,2 cm^3; schließlich hat Friedenthal darauf aufmerksam gemacht, daß ein besonderer Vorzug der Tensionsmessung gegenüber der Kryoskopie darin liegt, daß bei Veränderungen des osmotischen Druckes ohne Unterbrechung der Gang der Änderung am Manometer abgelesen werden kann. Diesem Vorteil steht allerdings der Nachteil gegenüber, daß zur Bestimmung der Dampfdruckerniedrigung sorgfältig die letzten Spuren gelöster Gase aus der Flüssigkeit entfernt werden müssen. Bei denjenigen Flüssigkeiten des tierischen Organismus, welche Gase enthalten, muß bei genauen Messungen eine noch nicht hinlänglich gesicherte Korrektur angebracht werden.

Differentialtensimeter von Friedenthal.

Friedenthal hat für physiologische Zwecke ein Differentialtensimeter konstruiert, welches durch Neigen des Manometerrohres jede gewünschte Empfindlichkeit einzustellen gestattet. Der Winkel α, welchen das Manometerrohr mit dem Horizont bildet, ist an einer Skala mit Nonius ablesbar. Wenn h der an der Skala des Manometerrohres abgelesene Skalenteil ist,

d das spezifische Gewicht der Manometerflüssigkeit (Quecksilber oder Rüböl), a der Neigungswinkel, so ist der Druck p = pd sin α. Die Handhabung des Differentialtensimeters ist folgende: Das Tensimeter wird von seinem Metalllager abgeschraubt und in den Glasschliff einer Toeplerschen Luftpumpe eingehängt. Durch Füllen des Glasgefäßes, welches den Schliff umgibt, mit Quecksilber wird die Dichtung zu einer absoluten gestaltet. Vor dem Gebrauch wird das Manometerrohr mit der Sperrflüssigkeit gefüllt, eine geringe Quantität der auf ihren osmotischen Druck zu untersuchenden Flüssigkeit mit einer dünnen Pipette in die Glaskugel F eingeführt, während eine gleiche Quantität konzentrierte Schwefelsäure mit Phosphorsäureanhydrid in die benachbarte Glaskugel ebenfalls mit einer Pipette gebracht wird. Die zur Einführung der Flüssigkeit geöffneten Glasschliffe werden eingedreht mit geschmolzenen Paraffin luftdicht verkittet. Die aus dem Tensimeter ausgepumpten Gase müssen, ehe sie in die Luftpumpe gelangen, zum Trocknen durch eine Vorlage mit P_2O_5 gehen; Feuchtigkeit würde das Vakuum verschlechtern. Nachdem ein Vakuum erzielt worden ist, wird das Tensimeter nach Schluß der Hähne bei e abgenommen und auf seinem Stativ befestigt. Diese Hähne sind durch Quecksilberringe gegen das Eindringen von Luft gesichert. Durch Zuschmelzen der kleinen Glasstutzen mit Paraffin wird das Hinauslaufen des Quecksilbers aus den Ringen der Hähne verhindert. Das Tensimeter wird auf das Stativ so befestigt, daß das Manometerrohr auf eine in $^1/_2$ Millimeter geteilte Glasskala zu liegen kommt. Das Grundbrett des Tensimeters ist durch zwei Stellschrauben K mittelst einer Wasserwage genau in die Horinzontale einzustellen. Das Tensimeter kommt in einen Thermostaten. Als Vergleichslösung dient destilliertes Wasser. Um den Apparat zu eichen und gleichzeitig die Genauigkeit desselben zu prüfen, kann man die anderweitig bekannte Konzentration der Lösung einer Substanz von bekanntem Molekulargewicht ermitteln. Die anzuwendende Formel hierfür ist:

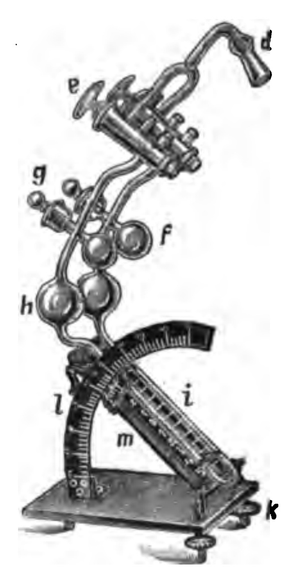


Fig. 17.

$$X = \frac{M \times \Delta p \times N}{p.s}$$

wo $N = \frac{\text{Gramm Lösungsmittel}}{\text{Molekulargewicht des Lösungsmittels}}$ für Wasser $\frac{100}{18} = 5.55$,

Δ p die Tensionsdifferenz, p die Tension des Wasserdampfes bei der Versuchstemperatur, M das Molekulargewicht der gelösten Substanz und s das spezifische Gewicht des Quecksilbers ist. Die Längen sind in cm anzugeben. Der Güte von Herrn Dr. Friedenthal verdankt der Verfasser folgendes Beispiel: Angewendet wurde eine 5% NaCl Lösung, deren Prozentgehalt tensimetrisch bestimmt werden sollte. Die Versuchstemperatur betrug 40.1°, die Tension des Wasserdampfes hierbei ist 55,46 mm Hg. Der Dissoziationsgrad des Kochsalzes in dieser Lösung beträgt 0.8; das mittlere Molekular-

gewicht des Kochsalzes in dieser Lösung M = 32,2; das spezifische Gewicht der Manometerflüssigkeit Rüböl = 0.915, der Neigungswinkel des Tensimeters bei der Ablesung betrug 45°, als Vergleichslösung diente destilliertes Wasser. Die abgelesene Tensionsdifferenz am Manometer betrug 32,0 mm Rüböl.

$$X = \frac{32.2 \times 2.08 \times 5.55}{5,546 \times 13,6} = 4,93\% \text{ (statt } 5,00\%\text{)}.$$

Die benötigte Menge Lösung betrug 0.5—0.2 cm³.

Das Friedenthalsche Tensimeter hat sich besonders nützlich erwiesen zur Untersuchung der Veränderungen in der molaren, beziehentlich osmotischen Konzentration, welche in einer Lösung spaltungsfähiger Substanzen durch Fermente im Verlaufe von deren Einwirkung auf die letzteren entstehen.

Differentialtensimeter von Moore und Roaf zur Bestimmung der Dampfspannung von Chloroform usw.

Das Prinzip des Differentialtensimeters von Moore und Roaf ist im allgemeinen aus der Figur 18 ersichtlich. Die beiden Röhren sind in ccm geteilt und im oberen Teile, dem Messbereich, in $^1/_{10}$ cm³. Der ganze Apparat ist an einem festen Stativ befestigt und jeder Teil für sich verschiebbar, um das Quecksilberniveau zu justieren. Die Röhren sind beim Versuch mit Warmwasserröhren umgeben. Die oberen eingeschliffenen Glasstopfen sind zur Dichtung mit Ringen, die mit Quecksilber gefüllt werden, umgeben. In das Innere der Röhre kann eine Vorrichtung zum Rühren und Mischen der Flüssigkeit eingeführt werden (in der Figur durch die auf dem Quecksilber ruhenden Knöpfen dargestellt). Durch das Rühren wird auch die Herstellung des Gleichgewichts zwischen Flüssigkeit und Dampfraum beschleunigt. Das niedrigere Seitenrohr neben jedem größeren Rohr dient zur Beseitigung der eventuellen kleinen Luftbläschen, welche langsam durch die Gummiverbindungen hindurchdringen, wenn das Quecksilberreservoir nach Herstellung des Vakuum gesenkt wird. Durch Heben des Quecksilberreservoirs bei geöffnetem Kautschukverschluß und Auslaufen von etwas Quecksilber kann die eingedrungene Luft entfernt werden. Das Quecksilberreservoir ist an einem Halter befestigt, der gröbere Verstellung und feinere vermittelst einer Schraube gestattet. Beim Gebrauch des Apparates werden die beiden Rohre zunächst in gleicher Höhe eingestellt, das Quecksilberreservoir wird mit Quecksilber gefüllt und der ganze Apparat bei geöffnetem Stopfen mit Quecksilber angefüllt. Hierauf werden die Stopfen geschlossen und mit Quecksilber gedichtet und das Quecksilberreservoir gesenkt gestellt, bis ein Vacuum hergestellt ist. Das Reservoir wird dann bis zur Höhe gehoben, um die letzten Luftbläschen zu entfernen.

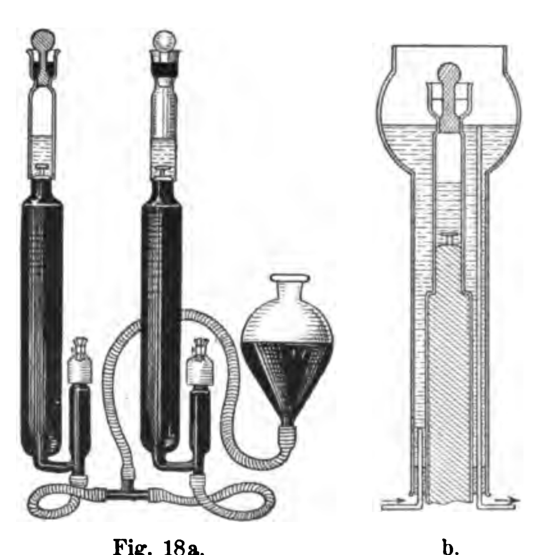


Fig. 18a. b.

Moore und Roaf haben das Tensimeter angewandt zur Ermittelung der Dampfspannung von Chloroform in Wasser, Salzlösungen und Serum. Das Tensimeter würde sich auch zu anderen Dampfdruckbestimmungen eignen; es sei aber das von Moore und Roaf benutzte Verfahren hier beschrieben. Im gebrauchfertigen Apparat werden bei

geöffnetem Stopfen die Quecksilberniveaus so justiert, daß auf beiden Seiten ein gleiches Niveau über dem Quecksilber ist. Hierauf wird ein bestimmtes Volumen (z. B. 5 cm^3) des Lösungsmittels auf der einen Seite und dasselbe Volumen einer Chloroformlösung im gleichen Lösungsmittel auf der anderen Seite eingeführt. Die eingeführte Lösung, z. B. Blut oder Serum muß gasfrei sein (vorher entgasen). Sowie die Lösung eingeführt worden ist, werden die Stopfen geschlossen, wobei Sorge zu tragen ist, daß keine Luft mit eingeschlossen wird. Um dies zu verhindern, werden 2—3 cm^3 mehr als erforderlich über das Quecksilber eingebracht, derart, daß die Flüssigkeit im oberen Hals der Röhre übersteht. Durch Lüften des Stopfens und Regulieren mit dem Quecksilberniveau wird das gewünschte Volumen eingebracht. Nachdem sich auf beiden Seiten das gleiche Volumen Flüssigkeit ohne Luft befindet, wird das Quecksilber gesenkt, bis ein Dampfraum entsteht. Auf derjenigen Seite, auf welcher sich die Chloroformlösung befindet, wird das Quecksilber tiefer stehen. Die Differenz wird direkt den Dampfdruck der Chloroformlösung für die betreffende Konzentration und Temperatur geben. Der Dampfdruck des Wassers wird allerdings einen kleinen Fehler bedingen, insofern auf der Seite der Chloroformlösung eine konzentriertere Lösung sich befindet, wodurch der Dampfdruck des Wassers vermindert wird. Doch kann der Fehler im Vergleich zur Größe des Dampfdruckes des Chloroforms vernachlässigt werden. Es sind einige Vorsichtsmaßregeln zu beachten. 1. Vor der Ablesung muß der Dampfraum über den wäßrigen Lösungen auf gleiches Volumen eingestellt werden, damit keine Ungleichheit des Druckes der auf beiden Seiten ausgepumpten Gase eintritt. 2. Es muß kräftig gerührt werden, bis man dauernd konstante Ablesungen erhält. 3. Die Temperatur muß auf beiden Seiten gleich sein. 4. Eine Korrektur ist anzubringen an der Konzentration der eingeführten Lösung für die Menge des an den Dampfraum abgegebenen Chloroforms. Die im Dampfraum vorhandene Chloroformmenge wird gefunden aus dem Produkt aus beobachtetem Dampfdruck und Volum des Dampfraums. Zieht man diesen Wert von der anderweitig bekannten Konzentration der eingeführten Lösung ab, so erhält man die Konzentration der Chloroformlösung, welche dem beobachteten Dampfdruck entspricht. Das Verhältnis des Dampfdruckes der Lösung zur Konzentration im Dampfraum gibt den Teilungskoeffizienten.

Moore und Roaf bringen zwei Methoden zur Anwendung. Die eine Methode besteht in der Herstellung von Dampfräumen variablen Volumens und einer stets gleich konzentrierten Lösung, die andere in der Benutzung eines stets konstanten Volums und verschieden konzentrierter Lösungen. Die letztere Methode gibt die genaueren Resultate.

Abteilung 4. Bestimmung der Leitfähigkeit der Elektrolyte.

Theorie.

In wäßrigen Lösungen, somit in den Flüssigkeiten des tierischen Organismus, sind die gelösten Elektrolyten teilweise als Ionen vorhanden. Die früher besprochene osmotische Konzentration ist die Konzentration an nicht dissoziierten Molekülen + Ionen, der osmotische Druck ist eine von der Summe beider abhängige Größe. In Lösungen von Elektrolyten geben daher die Methoden, welche direkt oder indireckt den osmotischen Druck bestimmen, keinen Aufschluß über die molekulare Konzentration. Der Anteil, welchen die Ionen an den besprochenen Größen, sowie an einer Reihe von Erscheinungen, die von ihnen abhängen, haben, wird ermittelt mit Hilfe der Leitfähigkeitsbestimmung. Die Leitfähigkeit einer Lösung hängt ab, bei bestimmter Temperatur, von ihrem Gehalt an freien Ionen und von der Reibung der Ionen an ihren Nachbarn und am Lösungsmittel oder von der Wanderungsgeschwindigkeit. Die Leitfähigkeit wird gefunden durch Bestimmung der mit ihr reziproken Größe, dem elektrischen Widerstand, ausgedrückt in Ohm.

Als spezifische Leitfähigkeit (K) bezeichnet man die in reziproken Ohm ausgedrückte Leitfähigkeit, die ein Flüssigkeitszylinder von 1 qcm Grundfläche und 1 cm Höhe hat und als Einheit das Leitvermögen einer Flüssigkeit, die in der Form eines Zylinders von 1 qcm Grundfläche und 1 cm Höhe den Widerstand 1 Ohm besitzt. Es ist dann $w = \frac{1}{K} \frac{l}{f}$ Ohm; $K = \frac{l}{f} \cdot \frac{1}{w}$, wo l die Länge in cm, f der Querschnitt in cm^3 des Gefäßes ist, in dem die Lösung sich befindet. Unter äquivalenter Leitfähigkeit (Λ) versteht man die Leitfähigkeit einer Lösung, die 1 Grammäquivalent in 1 cm^3 Lösung enthält. $\Lambda = \frac{K}{\eta}$; sei $\varphi = \frac{1}{\eta}$ die Verdünnung im cm^3/gr Äquivalenten, so ist $\Lambda = K\,\varphi$. Die Leitfähigkeit von Lösungen wird in Gefäßen verschiedenen Kalibers bestimmt. Es ist meist unbequem den zwischen den Elektroden befindlichen Raum auszumessen. Anstatt dessen führt man die Widerstandskapazität ein, d. h. den Widerstand, welchen das Gefäß hat, wenn es mit einer Lösung von der spezifischen Leitfähigkeit 1 gefüllt wird. Dann wird

$$K = \frac{C}{w} \text{ oder } \Lambda = \frac{\varphi C}{w}.$$

Die Ermittlung der Leitfähigkeit gibt einen Wert, der im allgemeinen von zwei Faktoren abhängt. In sehr verdünnten Lösungen ist die Dissoziation eine vollständige und die äquivalente Leitfähigkeit Λ_∞ ist nur abhängig von der Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen, in nicht verdünnten Lösungen ist die äquivalente Leitfähigkeit außerdem abhängig von dem Bruchteil α eines im Volum η aufgelösten Grammäquivalentes, der in Ionen gespalten ist. Es ist nach Kohlrausch

$$\Lambda_\infty = l_K + l_A;\ \Lambda_\eta = \alpha\,(l_K + l_A) \text{ also } \alpha = \frac{\Lambda_\eta}{\Lambda_\infty}$$
Dissoziationsgrad

wo l_K und l_A die Wanderungsgeschwindigkeiten der Kationen und Anionen sind. Es kann also der Dissoziationsfaktor α ermittelt werden durch die Bestimmung der Leitfähigkeit zweier Lösungen verschiedener Konzentration. Voraussetzung hierfür ist, daß durch Verdünnung der konzentrierten Lösung sich ein Grenzwert erreichen läßt, in dem die auf ein Grammäquivalent berechnete Leitfähigkeit nicht mehr zunimmt. In vielen Fällen, wo sich dieser Grenzwert, die molekulare Leitfähigkeit, nicht experimentell finden läßt, kann man dieselbe berechnen. (Näheres hierüber siehe Ostwald-Luther, Phys. chem. Messungen p. 434.)

Die dargelegten theoretischen Grundlagen der Leitfähigkeitsbestimmungen gelten zunächst nur streng für Lösungen eines einzigen Elektrolyten. Sehr viel verwickelter werden die Erscheinungen in Lösungen von mehreren Elektrolyten nebst Nichtelektrolyten, insbesondere dann, wenn deren Menge und Natur nicht anderweitig bekannt sind. Dieser Fall liegt bei den rein physiologischen Untersuchungen vor. Bei den Anwendungen der Leitfähigkeitsbestimmung in der Physiologie wird hierauf eingegangen werden.

Anmerkung: Früher wurde das elektrische Leitvermögen auf Quecksilber von 0° als Einheit bezogen. Diese Einheit ist 10630 mal größer und wird als K bezeichnet. Es ist demnach K = 10630 K.

Das Leitvermögen ist abhängig von der Temperatur, indem von dieser sowohl der Grad der Dissoziation sowie die Wanderungsgeschwindigkeit beeinflußt wird; im allgemeinen wächst das Leitvermögen auf 1° um mehrere Prozente. Ist K_{18} das Leitvermögen bei 18, K_1 und K_2 das Leitvermögen bei den Temperaturen t_1 und t_2, so ist der Temperaturkoeffizient

$$c = \frac{1}{K_{18}} \frac{K_2 - K_2}{t_2 - t_1}.$$

Praktische Ausführung der Bestimmung.

Das Leitvermögen wird ermittelt durch Bestimmung des Widerstandes der betreffenden Lösung. Der Widerstand der Lösung wird gefunden mit Hilfe der Wheatstoneschen Brückenanordnung. Die Brückenanordnung wird gebildet aus dem zu messenden Widerstand w, einem Rheostatem R mit bekannten Widerständen, einem Meßdraht und einem Zweige, der einen variablen Punkt des Meßdrahtes mit dem Knotenpunkt der beiden ersten Zweige verbindet. In diesem Verbindungszweige fließt kein Strom, wenn sich $\frac{w}{R} = \frac{a}{b}$ verhält, wo a und b die Längen der durch Kontaktverschiebung zu suchenden Teilstrecken des Meßdrahtes sind. Daraus ergibt sich der gesuchte Widerstand $u = R\frac{a}{b}$. Die Versuchsanordnung ist aus der beifolgenden Figur 19 ersichtlich.

Da es sich um polarisierbare Leiter zweiter Klasse handelt, muß zur Vermeidung der Polarisation der Brückenanordnung ein Wechselstrom zugeführt werden. Die Benutzung eines Wechselstromes hat zur Folge, daß man zum Erkennen, ob im Brückendraht Strom vorhanden ist oder nicht, sich eines Telephons bedienen muß. Wie aus der Figur ersichtlich, legt man, einem Vorschlag von Kohlrausch folgend, den Wechselstrom liefernden Apparat in den mit dem Gleitkontakt verbundenen Zweig, das Telephon aber an die unverrückbaren Zuleitungsdrähte zum Meßdraht. An dem Prinzip wird durch diese Vertauschung der sonst üblichen Anordnung nichts geändert. Hingegen werden die Unreinheit und Ungenauigkeit des Telephontones, die durch ungenügende Anlagerung des gleitenden Kontaktes resultieren, vermieden. Ganz allgemein wird die Messung so ausgeführt, daß ein passender Vergleichswiderstand eingeschaltet, der Wechselstrom in Gang gesetzt und durch Verschiebung des Gleitkontaktes am Meßdrahte

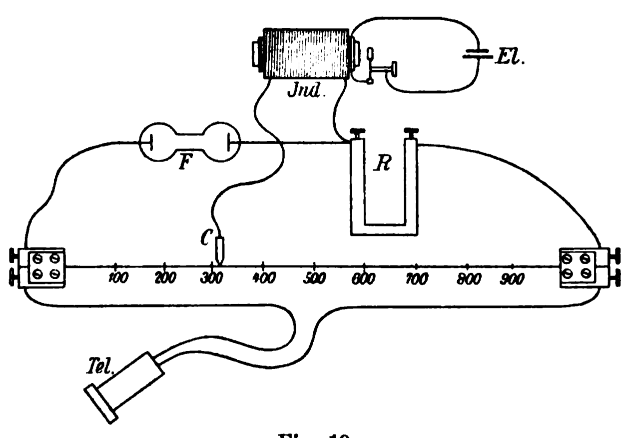


Fig. 19.

diejenige Einstellung aufgesucht wird, welche den Ton im Telephon verschwinden oder zu einem Minimum macht.

Spezielles Versuchsverfahren: 1. Der Meßdraht. Als Meßdraht bedient man sich entweder einer Kohlrauschschen Brückenwalze oder, was einfacher ist, des Ostwaldschen gestreckten Meßdrahtes, wie er von F. Köhler geliefert wird. Der Meßdraht ist in 1000 Skalenteile abgeteilt. Der Draht, der entweder aus iridiumhaltigen Platin oder aus Konstantan ist, soll über der Teilung liegen. Alle Meßdrähte bedürfen der Kalibrierung. Unter den mannigfachen Methoden hierzu empfiehlt sich durch ihre Einfachheit und Genauigkeit diejenige von Strouhal und Barus. Die Kalibriervorrichtung (Katalog Fr. Köhler, Leipzig p. 97) besteht aus 10 nahezu gleichen Widerständen aus Manganin, welche in Quecksilbernäpfe tauchen. Die Summe dieser Widerstände soll annähernd von derselben Größenordnung wie der Widerstand des Meßdrahtes sein. Die einzelnen Manganindrähte kommen in Glasröhren; an ihre Enden sind kurze dicke Kupferbügel angelötet, welche

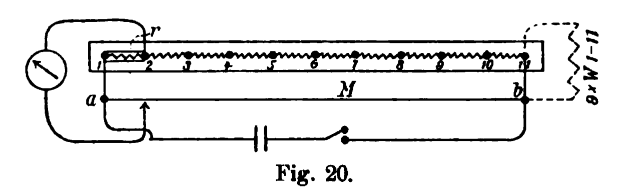


Fig. 20.

gut amalgamiert werden. Die zehn Widerstände kommen in eine Holzlatte; in diese sind je in der Distanz der umgebogenen Kupferbügel elf Näpfe eingebohrt, welche mit Quecksilber gefüllt werden. Es ist zweckmäßig, daß die Länge der Latte und dementsprechend der zehn Widerstände dieselbe sei, wie diejenige des Meßdrahtes. Einer der zehn Widerstände sei durch ein besonderes Zeichen gekennzeichnet. Die Schaltung und das Verfahren ist nach Ostwald-Luther folgendes: „Die Leitungsdrähte des Elementes werden mit den Enden a und b (Fig. 20) verbunden; man bringt die Leitungen des Galvanometers in den Quecksilbernapf 2 und an den Schlitten des Meßdrahtes und sucht mittelst desselben den Ort auf, wo der Ausschlag verschwindet. Nun wird der erste mit irgend einem Abzeichen versehene Widerstand r mit seinem Nachbar zur rechten vertauscht; man bestimmt die Stellung des Schlittens, indem die Galvanometerleitung einmal mit 2, sodann mit 3 verbunden ist, und notiert beide Ablesungen. Deren Unterschied entspricht einem Stück des Meßdrahtes, dessen Widerstand denselben Bruchteil des gesamten Meßdrahtwiderstandes ausmacht, wie der markierte Draht von der Summe aller zehn Widerstände. Der markierte Widerstand r wird nun zwischen 3 und 4 gebracht und wie früher verfahren, bis man schließlich r zwischen 10 und 11 hat, wo statt der beiden Ablesungen wieder nur eine, mit der Galvanometerleitung in 10, nötig ist. Durch diese Messungen hat man auf dem Meßdraht zehn gleichwertige Stücke bestimmt, von denen jedes nahezu ein Zehntel des Ganzen ist. Man addiert alle zehn Werte, teilt die Differenz gegen 1000 mm in zehn Teile und korrigiert jeden Einzelwert um diesen Betrag, so daß nunmehr die Summe genau 1000 mm ausmacht. Addiert man nun noch folgeweise die einzelnen korrigierten Strecken

in der Weise 1, 1+2, 1+2+3 . . ., so hat man in den erhaltenen Zahlen die Punkte, welche den aufeinander folgenden Zehnteln des Meßdrahtes entsprechen, und die Unterschiede dieser Werte gegen 100, 200, 300 mm.... sind die an den entsprechenden Stellen anzubringenden Korrekturen".

Beispiel (ein dem physiolog. Institut in Bern überlieferter Meßdraht).

Stellung des Kontaktes, die dem linken	rechten Ende des wandernden Drahtstückes entspricht.		Unterschied	Korrektion	Drahtlängen der einzelnen Zehntel des Meßdrahtwiderstandes.	Endpunkte der einzelnen Zehntel des Meßdrahtwiderstandes.	Korrektion an den Endpunkten der Zehntel.
Klemmschraube	103.0	103	— 2.89	100.11	100.11	— 0.1
107.5	210.3	103.2	— 2.89	100.31	200.42	— 0.4
205.0	308.0	103	— 2.89	100.11	300.53	— 0.5
304.9	408.0	103.1	— 2.89	100.21	400.74	— 0.7
407.8	510.7	102.9	— 2.89	100.01	500.75	— 0.8
504.0	607.0	103.0	— 2.89	100.11	600.86	— 0.9
606.0	708.9	102.9	— 2.89	100.01	700.87	— 0.9
702.5	805.3	102.8	— 2.89	99.91	800.78	— 0.8
799.0	902.0	103.0	— 2.89	100.11	900.89	— 0.9
898.0	Klemmdraht.	102.0	— 2.89	99.11	1000.00	
		1028.9				

Widerstände: Genaue Widerstandsätze werden jetzt von mehreren Firmen geliefert, Beglaubigung von der Reichsanstalt eventuell mit. Die Wicklung sei entweder bifilar oder unifilar nach Chaperon. Für die in der Physiologie vorkommenden Messungen des Leitvermögens reicht man keinesfalls mit einem kleinen Widerstandsatz von 1, 10, 100 und 1000 Ohm. Man bedarf eines Widerstandssatzes, welcher mindestens gestattet, die Hunderte und Zehner Ohm zu variieren.

Leitfähigkeitsgefäße: Für manche Zwecke reichen die in der Physik gebräuchlichen Leitfähigkeitsgefäße von Kohlrausch oder Arrhenius aus. Für die speziellen Bedürfnisse der Biologie sind die Gefäße von Henry, Hamburger, Asher, Borgers und Galeotti eingerichtet.

Das Gefäß von Henry (Fig. 21a) hat vertikal stehende Elektroden, um die Leitfähigkeit von solchen Lösungen bestimmen zu können, welche nach oben oder unten gehende kleine Körperchen enthalten (Blut, Milch usw.). Die Elektroden sind unverrückbar eingeschmolzen. Das Gefäß ist mit Stöpsel verschlossen, so daß man sowohl mit flüchtigen oder hygroskopischen Substanzen arbeiten, wie auch das Gefäß sterilisieren kann. In dem Gefäß von Asher (Fig. 21b) sind die Elektroden auch vertikal gestellt, aber im Deckel aus Hartgummi unverrückbar befestigt, anstatt in der Wandung eingeschmolzen. Es erfordert nur 1,7 cm³ Flüssigkeit, um bis über die Elektroden gefüllt zu sein. Im Gegensatz zu Henrys Gefäß läßt es sich leicht reinigen. Hamburgers Gefäß ist in Fig. 21c dargestellt. Das Leitfähigkeitsgefäß von Borgers (Fig. 21d) bedarf 3—4 Tropfen Versuchsflüssigkeit.

Zur Bestimmung der Leitfähigkeit, beziehentlich des Widerstandes von Gewebsstücken, hat Galeotti einen Apparat konstruiert, dessen Bau leicht aus der Figur 22 zu ersehen ist. Die Gewebsstücke kommen zwischen die beiden Elektroden a und b (letztere ist durch das Ebonitstück D von dem Metallrahmen isoliert). Zur Kapazitätsbestimmung werden die beiden Elektroden von einem passenden Glasring umgeben, so

daß die Form eines gewöhnlichen Gefäßes zur Bestimmung der Leitfähigkeit entsteht, und mit Hilfe von KCl Lösung wird die Kapazität ermittelt. Bei der Bestimmung der Leitfähigkeit von Gewebsstücken selbst ist peinlich darauf zu achten, daß die obere Elektrode unverrückbar fest befestigt sei. Hierzu dienen die Schrauben h und g.

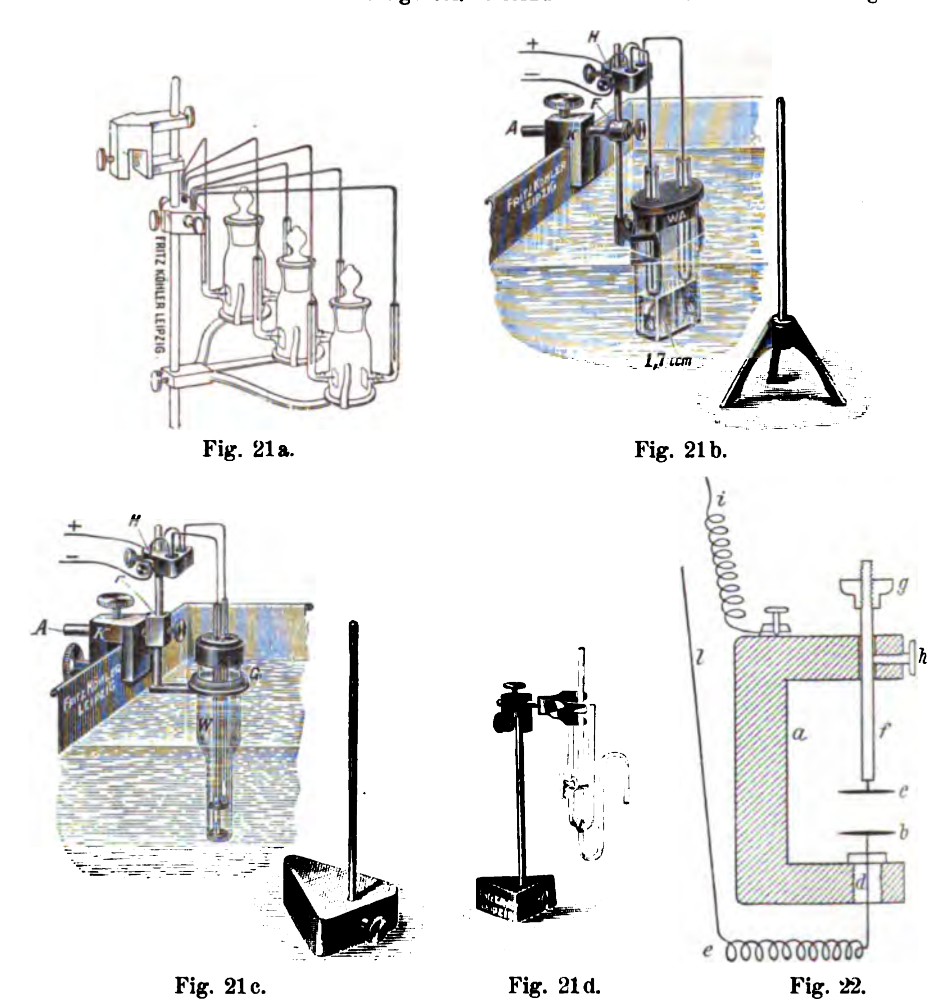


Fig. 21a. Fig. 21b.

Fig. 21c. Fig. 21d. Fig. 22.

Zum Gebrauche müssen die Elektroden platiniert werden. Die Platinelektroden werden mit Salpetersäure und Alkohol oder Natronlauge und Wasser gereinigt. Als Platinierungsflüssigkeit dient eine 3% Lösung von Platinchlorid mit Zusatz von $^1/_{40}$% Bleiazetat. Man setzt, wo das möglich ist, die beiden Elektroden in ein mit der Lösung gefülltes Bechergläschen und leitet den Strom von 2 Akkumulatoren oder drei bis vier Daniell hindurch, indem man die Stromstärke so reguliert, daß eine mäßige Gasentwicklung eintritt. Der Strom wird 5 Minuten in der einen und 5 Minuten in der anderen Richtung durchgeleitet. Hierauf wässert man die schön samtschwarz platinierten Elektroden längere Zeit in warmem Wasser. Bei Nichtgebrauch

kann man die Elektroden in reinem Wasser aufbewahren. Um die Elektroden zu trocknen, kann man sie in reinen absoluten Alkohol eintauchen.

Induktorium und Telephon: Von den mannigfachen Erregern für Wechselstrom wird man bei allen physiologischen Versuchen stets mit dem kleinen Induktorium nach Ostwald für Mückenton auskommen (Fr. Köhler, Leipzig). Man speist das Induktorium mit einem einzigen Elemente, reguliert die U-förmige Unterbrechungsfeder mit der Stellschraube, bis man einen feinen, surrenden „Mückenton" hört. Die neueren Ostwaldschen Induktorien werden mit einem Vorschaltwiderstand nach Art der Kohlrauschschen Brückenwalze geliefert, welcher die Einstellung des Mückentons erleichtert. Das Induktorium wird auf Filz oder Gummischlauch gestellt und kann mit einem Kasten bedeckt werden, um den Ton fast unhörbar zu machen. In das eine Ohr kommt ein Antiphon oder ein mit Gummi bezogenes Glasstäbchen. Der Strom zur primären Rolle soll nur während der Messung durchgehen, sonst aber durch einen Schlüssel geöffnet sein. Ostwald schaltet zum Schutze des Kontaktes vor dem Öffnungsfunken einen elektrolytischen Kondensator vor, welcher aus zwei Aluminiumblechen, die in Sulfatlösung oder Seifenwasser tauchen, besteht. Jedes Telephon, welches keinen zu großen Widerstand hat (10—30 Ohm) und symmetrisch ist, kann verwandt werden. Das Telephon wird bei der Messung fest an das Ohr gedrückt.

Drahtverbindungen: Die Leitungsdrähte, welche die einzelnen Teile der Anordnung verbinden, sollen einen möglichst kleinen Widerstand haben, der bei der Berechnung dann vernachlässigt werden darf.

Spezielle Ausführung der Messung: Alle Glasgefässe, mit welchen die zu untersuchende Flüssigkeit in Berührung kommt, sind nach der oben beschriebenen Methode von Abegg (siehe S. 113) vor dem Gebrauch auszudämpfen, ebenso das Widerstandsgefäß. Zuerst muß die Widerstandskapazität des Leitfähigkeitsgefäßes bestimmt werden. Nach der Gleichung $C = wk$ läßt sich die Widerstandskapazität aus dem Widerstand W finden, den die Füllung mit einer Flüssigkeit von bekannten Leitvermögen K gibt. Das Widerstandsgefäß wird mit der betreffenden Flüssigkeit (z. B. 0.1 normale KCl Lösung, $K_{18} = 0.01119$) bis zur Marke gefüllt und in den Thermostaten gebracht, der auf 18° einreguliert wird. Bei allen Bestimmungen ist ein auf eine Genauigkeit von 0.2° regulierbarer Thermostat nötig. Ein Widerstand des Vergleichsrheostaten wird eingeschaltet und zwar ein solcher, der, falls das nicht schon vorher der Fall sein sollte, das Minimum etwa in der Mitte des Meßdrahtes auftreten läßt. In der Mitte des Meßdrahtes ist die Genauigkeit am größten. Es werden noch einige Kontrollbestimmungen mit benachbarten Rheostatwiderständen ausgeführt. Nach guter Reinigung und Trocknung des Leitfähigkeitsgefäßes wird es wiederum genau bis zur Marke mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und die Bestimmung, wie eben beschrieben, wiederholt. Der gefundene Widerstand $W = R\frac{a}{b}$. Das jeweilige Verhältnis $\frac{a}{b}$ ist auch den hier folgenden Obachschen Tafeln zur Wheatstone-Kirchhoffschen Brücke ablesbar.

Das, worauf man einzustellen hat, wird in den seltensten Fällen ein absolutes Schweigen des Tones im Telephon sein, sondern ist meist ein Mini-

mum. Bei korrektem Arbeiten wird man im Intervall von 1—2 Skalenteilen des in 1000 geteilten Meßdrahtes eine Stelle finden, neben welcher zu beiden Seiten der Ton deutlich ansteigt.

Fehlerquellen: Das Tonminimum kann verwaschen sein. Dies rührt nach Kohlrausch entweder von Polarisation oder Selbstinduktion oder Kapazität her. Bei den meisten der in der Physiologie vorkommenden Messungen spielt, vorausgesetzt daß man mit von guten Firmen gelieferten Apparaten arbeitet, fast nur die Polarisation eine Rolle. Um die Polarisation möglichst zu verringern, müssen die Elektroden genügend groß und platiniert sein und muß das Widerstandsgefäß eine genügend große Kapazität besitzen. Die Widerstandskapazität von zwei Gefäßen, welche sich bewährt haben, nämlich die Formen von Hamburger und Asher, beträgt 1,208 beziehentlich 1,271. Häufiges Platinieren ist nicht zu umgehen. Bei großen Widerständen kann durch Kapazität (Aufnahme von Ladungen) ein schlechtes Tonminimum entstehen. Hiergegen kann man sich dadurch helfen, daß man die in einem Zweige auftretende Kapazität durch Hinzufügen eines abstufbaren Kondensators im anderen Zweige kompensiert. Eine wesentliche Fehlerquelle ist die Erwärmung durch den Induktionsstrom. Man schützt sich vor diesem Fehler, daß man möglichst schwache Ströme benutzt und den Strom nur kurze Zeit schließt. Die kurze Dauer des Stromschlusses hat noch den Vorzug, daß man bei kürzerem Horchen in das Telephon das Minimum besser wahrnimmt als bei längerem Hinhören, wobei das Ohr abstumpft.

Obachsche Tafeln aus Kohlrausch & Holborn, Leitvermögen der Elektrolyte. (Leipzig, Teubner.)

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	0,0000	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,500	2,333	4,000	9,00
1	0,0010	0,1123	0,2516	0,4306	0,6694	1,0040	1,506	2,344	4,025	9,10
2	0,0020	0,1136	0,2531	0,4327	0,6722	1,0080	1,513	2,356	4,051	9,20
3	0,0030	0,1148	0,2547	0,4347	0,6750	1,0121	1,519	2,367	4,076	9,31
4	0,0040	0,1161	0,2563	0,4368	0,6779	1,0161	1,525	2,378	4,102	9,42
5	0,0050	0,1173	0,2579	0,4388	0,6807	1,0202	1,532	2,390	4,128	9,53
6	0,0060	0,1186	0,2594	0,4409	0,6835	1,0243	1,538	2,401	4,155	9,64
7	0,0070	0,1198	0,2610	0,4430	0,6863	1,0284	1,545	2,413	4,181	9,75
8	0,0081	0,1211	0,2626	0,4451	0,6892	1,0325	1,551	2,425	4,208	9,87
9	0,0091	0,1223	0,2642	0,4472	0,6921	1,0367	1,558	2,436	4,236	9,99
10	0,0101	0,1236	0,2658	0,4493	0,6949	1,0408	1,564	2,448	4,263	10,11
11	0,0111	0.1249	0,2674	0,4514	0,6978	1,0450	1,571	2,460	4,291	10,24
12	0,0121	0,1261	0,2690	0,4535	0,7007	1,0492	1,577	2,472	4,319	10,36
13	0,0132	0,1274	0,2706	0,4556	0,7036	1,0534	1,584	2,484	4,348	10,49
14	0,0142	0,1287	0,2723	0,4577	0,7065	1,0576	1,591	2,497	4,376	10,63
15	0,0152	0,1299	0,2739	0,4599	0,7094	1,0619	1,597	2,509	4,405	10,76
16	0,0163	0,1312	0,2755	0,4620	0,7123	1,0661	1,604	2,521	4,435	10,90
17	0,0173	0,1325	0,2771	0,4641	0,7153	1,0704	1,611	2,534	4,464	11,05
18	0,0183	0,1337	0,2788	0,4663	0,7182	1,0747	1,618	2,546	4,495	11,20
19	0,0194	0,1351	0,2804	0,4684	0,7212	1,0790	1,625	2,559	4,525	11,35

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
20	0,0204	0,1364	0,2820	0,4706	0,7241	1,0833	1,632	2,571	4,556	11,50
21	0,0215	0,1377	0,2837	0,4728	0,7271	1,0877	1,639	2,584	4,587	11,66
22	0,0225	0,1390	0,2853	0,4749	0,7301	1,0921	1,646	2,597	4,618	11,82
23	0,0235	0,1403	0,2870	0,4771	0,7331	1,0964	1,653	2,610	4,650	11,99
24	0,0246	0,1416	0,2887	0,4793	0,7361	1,1008	1,660	2,623	4,682	12,16
25	0,0256	0,1429	0,2903	0,4815	0,7391	1,1053	1,667	2,636	4,714	12,33
26	0,0267	0,1442	0,2920	0,4837	0,7422	1,1097	1,674	2,650	4,747	12,51
27	0,0277	0,1455	0,2937	0,4859	0,7452	1,1142	1,681	2,663	4,780	12,70
28	0,0288	0,1468	0,2953	0,4871	0,7483	1,1186	1,688	2,676	4,814	12,89
29	0,0299	0,1481	0,2970	0,4903	0,7513	1,1231	1,695	2,690	4,848	13,08
30	0,0309	0,1494	0,2907	0,4925	0,7544	1,1277	1,703	2,704	4,882	13,29
31	0,0320	0,1507	0,3004	0,4948	0,7575	1,1322	1,710	2,717	4,917	13,49
32	0,0331	0,1521	0,3021	0,4970	0,7606	1,1368	1,717	2,731	4,952	13,71
33	0,0341	0,1534	0,3038	0,4993	0,7637	1,1413	1,725	2,745	4,988	13,93
34	0,0352	0,1547	0,3055	0,5015	0,7668	1,1459	1,732	2,759	5,024	14,15
35	0,0363	0,1561	0,3072	0,5038	0,7699	1,1505	1,740	2,774	5,061	14,38
36	0,0378	0,1574	0,3089	0,5060	0,7731	1,1552	1,747	2,788	5,098	14,63
37	0,0384	0,1587	0,3106	0,5083	0,7762	1,1598	1,755	2,802	5,135	14,87
38	0,0395	0,1601	0,3123	0,5106	0,7794	1,1645	1,762	2,817	5,173	15,13
39	0,0406	0,1614	0,3141	0,5129	0,7825	1,1692	1,770	2,831	5,211	15,39
40	0,0417	0,1628	0,3158	0,5152	0,7857	1,1739	1,778	2,846	5,250	15,67
41	0,0428	0,1641	0,3175	0,5175	0,7889	1,1786	1,786	2,861	5,289	15,95
42	0,0438	0,1655	0,3193	0,5198	0,7921	1,1834	1,793	2,876	5;329	16,24
43	0'0449	0,1669	0,3210	0,5221	0,7953	1,1882	1,801	2,891	5,369	16,54
44	0,0460	0,1682	0,3228	0,5244	0,7986	1,1930	1,809	2,906	5,410	16,86
45	0,0471	0,1696	0,3245	0,5267	0,8018	1,1978	1,817	2,922	5,452	17,18
46	0,0482	0,1710	0,3263	0,5291	0,8051	1,2026	1,825	2,937	5,494	17,52
47	0,0493	0,1723	0,3280	0,5314	0,8083	1,2075	1,833	2,953	5,536	17,87
48	0,0504	0,1737	0,3298	0,5337	0,8116	1,2124	1,841	2,968	5,579	18,23
49	0,0515	0,1751	0,3316	0,5361	0,8149	1,2173	1,849	2,984	5,623	18,61
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00
51	0,0537	0,1779	0,3351	0,5408	0,8215	1,2272	1,865	3,016	5,711	19,41
52	0,0549	0,1792	0,3369	0,5432	0,8248	1,2321	1,874	3,022	5,757	19,83
53	0,0560	0,1806	0,3387	0,5456	0,8282	1,2371	1,882	3,049	5,803	20,28
54	0,0571	0,1820	0,3405	0,5480	0,8315	1,2422	1,890	3,065	5,849	20,74
55	0,0582	0,1834	0,3423	0,5504	0,8349	1,2472	1,899	3,082	5,897	21,22
56	0,0593	0,1848	0,3441	0,5528	0,8382	1,2523	1,907	3,098	5,944	21,73
57	0,0604	0,1862	0,3459	0,5552	0,8416	1,2573	1,915	3,115	5,993	22,26
58	0,0616	0,1876	0,3477	0,5576	0,8450	1,2624	1,924	3,132	6,042	22,81
59	0,0627	0,1891	0,3495	0,5601	0,8484	1,2676	1,933	3,149	6,092	23,39
60	0,0638	0,1905	0,3514	0,5625	0,8519	1,2727	1,941	3,167	6,143	24,00
61	0,0650	0,1919	0,3532	0,5649	0,8553	1,2779	1,950	3,184	6,194	24,64
62	0,0661	0,1933	0,3550	0,5674	0,8587	1,2831	1,959	3,202	6,246	25,32
63	0,0672	0,1947	0,3569	0,5699	0,8622	1,2883	1,967	3,219	6,299	26,03
64	0,0684	0,1962	0,3587	0,5723	0,8657	1,2936	1,976	3,237	6,353	26,78
65	0,0695	0,1976	0,3605	0,5748	0,8692	1,2989	1,985	3,255	6,407	27,57
66	0,0707	0,1990	0,3624	0,5773	0,8727	1,3041	1,994	3,274	6,463	28,41
67	0,0718	0,2005	0,3643	0,5798	0,8762	1,3095	2,003	3,292	6,519	29,30
68	0,0730	0,2019	0,3661	0,5823	0,8797	1,3148	2,012	3,310	6,576	30,25
69	0,0741	0,2034	0,3680	0,5848	0,8832	1,3202	2,021	3,329	6,634	31,26

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
70	0,0753	0,2048	0,3699	0,5873	0,8866	1,3256	2,030	3,348	6,692	32,33
71	0,0764	0,2063	0,3717	0,5898	0,8904	1,3310	2,040	3,367	6,752	33,48
72	0,0776	0,2077	0,3736	0,5924	0,8939	1,3364	2,049	3,386	6,813	34,71
73	0,0787	0,2092	0,3755	0,5949	0,8975	1,3419	2,058	3,405	6,874	36,04
74	0,0799	0,2107	0,3774	0,5974	0,9011	1,3474	2,067	3,425	6,937	37,46
75	0,0811	0,2121	0,3793	0,6000	0,9048	1,3529	2,077	3,444	7,000	39,00
76	0,0823	0,2136	0,3812	0,6026	0,9084	1,3585	2,086	3,464	7,065	40,67
77	0,0834	0,2151	0,3831	0,6051	0,9120	1,3641	2,096	3,484	7,130	42,48
78	0,0846	0,2165	0,3850	0,6077	0,9157	1,3697	2,106	3,505	7,197	44,45
79	0,0858	0,2180	0,3870	0,6103	0,9194	1,3753	2,115	3,525	7,264	46,62
80	0,0870	0,2195	0,3889	0,6129	0,9231	1,3810	2,125	3,545	7,333	49,00
81	0,0881	0,2210	0,3908	0,6155	0,9268	1,3866	2,135	3,566	7,403	51,63
82	0,0893	0,2225	0,3928	0,6181	0,9305	1,3923	2,145	3,587	7,475	54,56
83	0,0905	0,2240	0,3947	0,6207	0,9342	1,3981	2,155	3,608	7,547	57,82
84	0,0917	0,2255	0,3966	0,6234	0,9380	1,4083	2,165	3,630	7,621	61,50
85	0,0929	0,2270	0,3986	0,6260	0,9417	1,4096	2,175	3,651	7,696	65,67
86	0,0941	0,2285	0,4006	0,6287	0,9455	1,4155	2,185	3,673	7,772	70,43
87	0,0953	0,2300	0,4025	0,6313	0,9493	1,4213	2,195	3,695	7,850	75,92
88	0,0965	0,2315	0,4045	0,6340	0,9531	1,4272	2,205	3,717	7,929	82,33
89	0,0977	0,2330	0,4065	0,6367	0,9569	1,4331	2,215	3,739	8,009	89,91
90	0,0989	0,2346	0,4085	0,6398	0,9608	1,4390	2,226	3,762	8,091	99,00
91	0,1001	0,2361	0,4104	0,6420	0,9646	1,4450	2,236	3,785	8,174	110,1
92	0,1013	0,2376	0,4124	0,6447	0,9685	1,4510	2,247	3,808	8,259	124,0
93	0,1025	0,2392	0,4144	0,6474	0,9724	1,4570	2,257	3,831	8,346	141,9
94	0,1038	0,2407	0,4164	0,6502	0,9763	1,4631	2,268	3,854	8,434	165,7
95	0,1050	0,2422	0,4184	0,6529	0,9802	1,4691	2,279	3,878	8,524	199,0
96	0,1062	0,2438	0,4205	0,6556	0,9841	1,4752	2,289	3,902	8,615	249,0
97	0,1074	0,2453	0,4225	0,6584	0,9881	1,4814	2,300	3,926	8,709	332,3
98	0,1086	0,2469	0,4245	0,6611	0,9920	1,4876	2,311	3,950	8,804	499,0
99	0,1099	0,2484	0,4265	0,6639	0,9966	1,4938	2,322	3,975	8,901	999,0
100	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,5000	2,333	4,000	9,000	0

Spezifisches Leitvermögen von Normalflüssigkeiten zur Bestimmung der Widerstands-Kapazität von Gefäßen.

Nach Kohlrausch, Holborn und Diesselhorst. Wiedem. Ann. 64, S. 440 u. 451, 1898.

	KCl normal		KCl 1/10 normal		KCl 1/50 normal		KCl 1/100 normal	
	$\varkappa$		$\varkappa$		$\varkappa$		$\varkappa$	
0°	0,06541		0,00715		0,001521		0,000776	
1°	0,06713	172	0,00736	21	0,001566	45	0,000800	24
2°	0,06886	173	0,00757	21	0,001612	46	0,000824	24
3°	0,07061	175	0,00779	22	0,001659	47	0,000848	24
4°	0,07237	176	0,00800	21	0,001705	46	0,000872	24
5°	0,07414	177	0,00822	22	0,001752	47	0,000896	24
6°	0,07593	179	0,00844	22	0,001800	48	0,000921	25
7°	0,07773	180	0,00866	22	0,001848	48	0,000945	24
8°	0,07954	181	0,00888	22	0,001896	48	0,000970	25

	KCl normal		KCl $^1/_{10}$ normal		KCl $^1/_{50}$ normal		KCl $^1/_{100}$ normal	
	$\varkappa$		$\varkappa$		$\varkappa$		$\varkappa$	
9°	0,08136	182	0,00911	23	0,001945	49	0,000995	25
10°	0,08319	183	0,00933	22	0,001994	49	0,001020	25
11°	0,08504	185	0,00956	23	0,002043	49	0,001045	25
12°	0,08689	185	0,00979	23	0,002093	50	0,001070	25
13°	0,08876	187	0,01002	23	0,002142	49	0,001095	25
14°	0,09063	187	0,01025	23	0,002193	51	0,001121	26
15°	0,09252	189	0,01048	23	0,002243	50	0,001147	26
16°	0,09441	189	0,01072	24	0,002294	51	0,001173	26
17°	0,09631	190	0,01095	23	0,002345	51	0,001199	26
18°	0,09822	191	0,01119	24	0,002397	52	0,001225	26
19°	0,10014	192	0,01143	24	0,002449	52	0,001251	26
20°	0,10207	193	0,01167	24	0,002501	52	0,001278	27
21°	0,10400	193	0,01191	24	0,002553	52	0,001305	27
22°	0,10594	194	0,01215	24	0,002606	53	0,001332	27
23°	0,10789	195	0,01239	24	0,002659	53	0,001359	27
24°	0,10984	195	0,01264	25	0,002712	53	0,001386	27
25°	0,11180	196	0,01288	24	0,002765	53	0,001413	27
26°	0,11377	197	0,01313	25	0,002819	54	0,001441	28
27°	0,11574	197	0,01337	24	0,002873	54	0,001468	27
			0,01362	25	0,002927	54	0,001496	28
			0,01387	25	0,002981	54	0,001524	28
			0,01412	25	0,003036	55	0,001552	28

Ionengeschwindigkeit: Die Kenntnis der Wanderungsgeschwindigkeit hat zwar für die Physiologie eine große Wichtigkeit, doch ist deren Bestimmung da, wo sie möglich ist, eine rein physikalische Angelegenheit.

Tabelle der elektrolytischen Beweglichkeit der Ionen nach Kohlrausch (Ber. d. Berlin. Akademie 26,586, 1902).

Kationen		Anionen	
u für H	= 318,0	v für OH	= 174
Li	= 33,44	F	= 46,64
Na	= 43,55	Cl	= 65,44
Ku	= 64,67	Br	= 67,63
Rb	= 67,6	J	= 66,40
Co	= 68,2	NO_3	= 61,78
NH_4	= 64,4	CNJ	= 56,63
Ag	= 54,02	ClO_3	= 55,03
$^1/_2$ Bo	= 57,3	$^1/_2$ SO_4	= 70,0
$^1/_2$ Sr	= 54,0		
$^1/_2$ Ca	= 53,0		
$^1/_2$ Mg	= 49,0		

Mit den in obiger Tabelle gegebenen Werten wird man in allen Fällen auskommen, wo man für gewisse später folgende Berechnungen die Kenntnis der Wanderungsgeschwindigkeit haben muß. Sehr eingehende Tabellen finden sich in Hamburger, Osmot. Druck und Ionenlehre, Bd. I.

Physiologische Anwendung der Leitfähigkeitsbestimmungen.

Die eine Art der Anwendung der Bestimmung der Leitfähigkeit in der Physiologie besteht in der Ermittlung des Leitvermögens einer im Experiment gebrauchten Lösung, um aus dem Dissoziationsgrad derselben den Anteil der dissoziierten Ionen am osmotischen Druck der Lösung kennen zu lernen oder um die Löslichkeit schwer löslicher Substanzen zu bestimmen oder um die Beziehung zwischen Dissoziierung und irgend einer vom Ionengehalt der Lösung abhängigen physiologischen Wirkung näher zu untersuchen. Bei solchen Untersuchungen spielt die Reinheit des Wassers, in welchem die betreffende Substanz gelöst wird, eine Rolle, die um so größer ist, je geringer die Konzentration der Lösung ist. Das im Laboratorium vorhandene destillierte Wasser kann durch partielles Ausfrieren zu einem ganz brauchbaren gemacht werden. Eine andere Methode besteht darin, daß man das Wasser einmal nach Zusatz von Schwefelsäure und Permanganat und ein zweites Mal nach Zusatz von Barythydrat destilliert. Die Kühler müssen aus Silber oder Zinn sein. Aus den Gefäßen, in welchen das Wasser aufgefangen und aufbewahrt wird, vertreibt man die CO_2 (welche am meisten zur Verunreinigung des Wassers, d. h. zur Erhöhung der Leitfähigkeit beiträgt) durch CO_2-freie und auch im übrigen reine Luft. Leitfähigkeitswasser, $K = 1—2 \times 10^{-6}$ liefert in Ballons von 50 Litern Kahlbaum, Berlin. Alle Glasgefäße, die bei Leitfähigkeitsbestimmungen gebraucht werden, dämpft man in der oben beschriebenen Weise aus.

(Berechnung des wahren osmotischen Druckes einer Elektrolytenlösung. Der von einem Elektrolyten in wäßriger Lösung ausgeübte osmotische Druck ist gleich dem osmotischen Drucke, den er ausüben würde, wenn er aus lauter nicht dissoziierten Molekülen bestände mal einem Faktor i. Dieser Faktor $i = 1 + (K—1)\,\alpha$, wo K die Anzahl der Moleküle ist, in welches sich jedes Molekül spalten kann, α der Dissoziationsfaktor. Sind in 22.34 Liter 1 g Molekül undissoziiert enthalten, so beträgt der osmotische Druck 1 Atm. In einer 0.9 % NaCl Lösung sind $\frac{0,9}{58,5}$ Gramm Moleküle enthalten; in 22,34 Liter würden also $\frac{0,9}{58,5} \times 223,4 = 3,437$ Gramm Moleküle vorhanden sein. Bei 18^0 würde deren Druck $= 3,437\ (1 + \frac{18}{273}) = 3,663$ Atm. sein. α einer 0,9 % NaCl Lösung ist $= 0,818$, folglich $i = 1 + 0,818$. Der wahre osmotische Druck einer 0,9 % NaCl Lösung bei 18^0 ist $3,663 \times 1,818 = 6,67$ Atm.)

Bei weitem die häufigere Anwendung findet die Bestimmung der Leitfähigkeit bei Untersuchungen von Flüssigkeiten aus dem tierischen Organismus. Hierbei treten eine Reihe von wichtigen Unterschieden gegenüber den Messungen in der physikalischen Chemie auf. Meist ist sowohl die genaue qualitative Zusammensetzung, sowie die molekulare Konzentration an nicht dissoziierten Molekülen unbekannt; ferner liegen große Komplikationen in der Ionendissoziation vor, indem bei einem Gemisch von mehreren Elektrolyten eine gegenseitige, teilweise nicht hinreichend bekannte Beeinflussung der Dissoziation vorhanden ist; schließlich sind in den Lösungen neben den Elektrolyten noch gelöste Nichtelektrolyte und eventuell korpuskuläre Ele-

mente vorhanden. Es hängt die im Experimente an tierischen Flüssigkeiten gefundene Leitfähigkeit also von folgenden Faktoren ab: 1. Von der Konzentration an dissoziierten Elektrolyten, welche ihrerseits wiederum von den gleichzeitig vorhandenenen anderen Elektrolyten abhängt; 2. von der Konzentration der Nichtelektrolyten; 3. von dem Gehalt an korpuskulären Elementen; 4. von der Temperatur. Hat man aus anderweitigen Erfahrungen die Berechtigung, eine Änderung von den unter 2—4 aufgezählten Faktoren auszuschließen, so liefert die Bestimmung der Leitfähigkeit Aufschluß über den Gehalt der betreffenden Flüssigkeit an Elektrolyten. Da unter diesen Elektrolyten die anorganischen meist allein die für die Stromleitung in Betracht kommenden sind, die organischen aber vernachlässigt werden dürfen, gibt die Bestimmung der Leitfähigkeit, namentlich bei vergleichenden Untersuchungen, Auskunft über die Veränderungen des Gehalts an anorganischen Elektrolyten. Die Rücksichtnahme auf die soeben auseinandergesetzte Einschränkung ist nicht außer acht zu lassen.

Korrektionen für die Leitfähigkeit: Der wahre Wert, den die Leitfähigkeit haben würde, wenn keine Nichtelektrolyten vorhanden wären, läßt sich in einigen Fällen ermitteln. Für das Eiweiß des Blutserums haben Bugarszky und Tangl gefunden, daß je 1 g Eiweiß in 100 cm³ des Blutserums die elektrische Leitfähigkeit um 2,5 % vermindern. Es ist demnach für Serum die korrigierte Leitfähigkeit

$$\lambda_c = \lambda \frac{100-2,5\,p}{100}$$

wo λ die beobachtete Leitfähigkeit des Serums, p der Eiweißgehalt in 100 cm in Grammen ist.

Für Lösungen, welche korpuskuläre, suspendierte Elemente enthalten, hat Oker-Blom Formeln angegeben, um die Leitfähigkeit der Lösung zu ermitteln. Wenn λ die Leitfähigkeit der Lösung und λ' die des Präparates bei gleichmäßiger Verteilung des suspendierten Körpers darstellen, sowie l die Volumenprozente der Lösung und u die des nicht leitenden Körpers bedeutet, so ist

$$\lambda' = \lambda \left(\frac{\sqrt[3]{l}}{\sqrt{l^{2}/_{3} + u^{2}/_{3}}} + K \right) \text{ oder einfacher } \lambda' = \lambda \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 2u}} + K' \right)$$

wo K und K' Konstanten sind, die sowohl positive, als auch negative Werte haben können und von der Form des suspendierten Körpers abhängen. Es ist

$$K = \frac{\lambda' - \lambda l}{u\, l\, \lambda} \quad K' = \frac{\lambda}{l\lambda.}$$

Bestimmung der Blutkörperchenvolumina, beziehentlich des Serumvolum im Blute.

Der Einfluß von suspendierten Partikeln kommt zur Geltung beim Blute. Es läßt sich unter Berücksichtigung des Einflusses der Blutkörperchen auf die Leitfähigkeit des Blutes eine rechnerische Beziehung zwischen den Leitfähigkeiten von Blut und Serum und den Volumina des Serums oder der Blutkörperchen ableiten. Die Formel von Stewart hierfür lautet:

$$p = \frac{\lambda_{(b)}}{\lambda_{(s)}} (180 - \lambda_b - \sqrt{\lambda_{(b)}}) \text{ oder einfacher}$$

$$p = \frac{174\,\lambda_{(b)} - (\lambda_{(b)})^2}{\lambda_{(s)}}$$

p = Anzahl cm^3 Serum in 100 cm^3 Blut, λ_b die elektrische Leitfähigkeit des Blutes, λ_s die des Serums bei 5°.

Die Formeln von Stewart sind empirisch gefundene und gelten zunächst nur für das Hundeserum. Eine andere Methode zur Bestimmung des Blutkörperchenvolums aus der Leitfähigkeit hat Oker-Blom angegeben. Man bestimmt die Leitfähigkeit λ' des Blutes und λ des Serums, rechnet das Verhältnis $\frac{\lambda}{\lambda'}$ aus und bedient sich sodann einer graphischen Tabelle, in der die Werte $\frac{\lambda}{\lambda'}$ als Abscisse und die zugehörigen Volumenprozente der Blutkörperchen als Ordinaten eingetragen sind (Fig. 23). Das Verhältnis $\frac{\lambda}{\lambda'}$ ist bei einem und demselben Blutkörpergehalte konstant und sowohl vom absoluten Wert der Leitfähigkeit des Serums, als auch von der absoluten Größe der einzelnen Blutkörperchen unabhängig.

Tabelle von Oker-Blom zur Bestimmung des prozentischen Volums der Blutkörperchen.

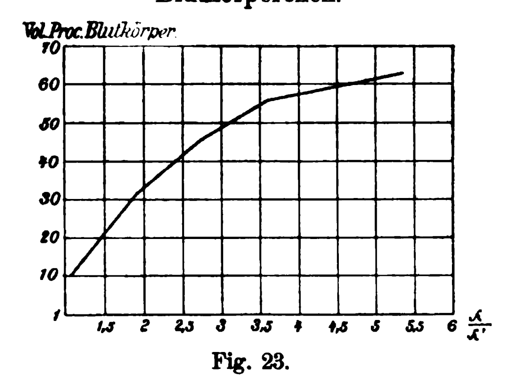


Fig. 23.

Anmerkung: Die Beziehungen der Blutkörperchen zur Leitfähigkeit haben die Grundlage abgegeben, um mit Hilfe von Leitfähigkeitsbestimmungen des Blutes zu untersuchen, ob Stoffe in die Blutkörperchen eingedrungen sind oder nicht (Oker-Blom). Die Methode ist aber Einwänden ausgesetzt. (Siehe hierüber Oker-Blom und Hamburger.)

Einfluß korpuskulärer Substanzen auf die Leitfähigkeit der Milch.

Bei der Milch sind suspendierte Stoffe wie das Fett, Eiweißstoff und und Kalziumphosphat nicht leitende Partikelchen, welche die Leitfähigkeit der Milch herabdrücken. Dieser Einfluß muß bei den einzelnen Milchsorten, welche sich in dieser Beziehung voneinander unterscheiden, in Rechnung gesetzt werden.

Abteilung 5. Osmotische Analyse der tierischen Flüssigkeiten mit Hilfe von Gefrierpunkt und Leitfähigkeit.

Erst die Verbindung der Bestimmung des Gefrierpunktes mit derjenigen der Leitfähigkeit ermöglicht bei den aus Leitern und Nichtleitern zusammengesetzten tierischen Flüssigkeiten eine genauere physikalisch-chemische Analyse, welche unter gewissen Bedingungen die spezielle Bestimmung einzelner chemischer Bestandteile erspart. Man erfährt durch die Verbindung beider Methoden die osmotische Konzentration und den Anteil der Leiter, also auch der Nichtleiter an derselben; hierdurch ist für die Kenntnis der physiologischen Vorgänge viel gewonnen. Wo der Natur der Sache nach nur geringe Flüssigkeitsmengen zur Verfügung stehen, ist die aus Kryoskopie und Leitfähigkeitsbestimmung kombinierte Methode wertvoll. Aber viel bestimmtere Angaben können gemacht werden, wenn noch hinzukommt die chemische Analyse einzelner Bestandteile der tierischen Flüssigkeiten. Hierüber im folgenden näheres.

Osmotische Analyse des Blutserums. (Bugarszky und Tangl.) Über Gefrierpunktsbestimmung des Serums siehe oben. Die Leitfähigkeit wird nach der beschriebenen Methode ausgeführt. Es ist auf die Leitfähigkeit von Einfluß, auf welche Methode das Serum gewonnen wurde; die Leitfähigkeit des spontan abgesetzten Serums ist größer als diejenige des Serums von defibriniertem Blute. Ferner ist die Leitfähigkeit von frischem und altem Serum verschieden. Bei der großen Feinheit der Leitfähigkeitsbestimmung ist die Erhaltung des unveränderten Zustandes des Serums anzustreben. Die gefundene Leitfähigkeit wird nach der oben angegebenen Formel von Bugarszky und Tangl korrigiert, wozu die Ermittlung des Eiweißgehaltes benötigt wird. Aus der korrigierten Leitfähigkeit wird die Konzentration der Elektrolytmolekel unter der Annahme berechnet, daß das elektrische Leitvermögen des Blutserums hauptsächlich durch NaCl und Na_2CO_3 bedingt wird. (Die übrigen im Blut vorkommenden anorganischen Leiter sowie die nur spurweise vorkommenden organischen Leiter, milchsaure, fettsaure und harnsaure Salze können vernachlässigt werden. Näheres siehe darüber bei Bugarszky und Tangl.) Die Berechnung gestaltet sich folgendermaßen. Im Serum wird titrimetrisch der Chlorgehalt bestimmt und auf diese Weise der Chlornatriumgehalt des Serums gefunden. Aus den Messungen Kohlrauschs (Leitfaden der prakt. Physik 10. Aufl. p. 639) berechnet man durch Interpolation die elektrische Leitfähigkeit einer Lösung von gleichem Chlornatriumgehalt wie das Blutserum. So wird die dem NaCl-Elektrolyt des Serums entsprechende Leitfähigkeit gefunden. Zieht man diesen Wert von der korrigierten Leitfähigkeit des Serums ab, so ergibt sich die Leitfähigkeit der Nicht-NaCl-Elektrolyte des Blutserums. Unter der Annahme, daß alle „Achlorid-Elektrolyte" aus Na_2CO_3 bestehen, berechnet man aus Kohlrauschs Tabellen die Konzentration jener Na_2CO_3-Lösung, die dieselbe Leitfähigkeit besitzt, wie die für die Achlorid-Elektrolyte des Serums restierende.

(Der Fehler, welcher begangen wird, daß die Konzentration der Achlorid-Elektrolyte als Na_2CO_3 ausgedrückt wird, beträgt nicht mehr als 1—2 Hundertstel der Gesamtelektrolytkonzentration.) Es ist nun noch der Dissoziationsgrad zu berechnen, welcher 1. dem gefunden NaCl, 2. dem berech-

neten Na_2CO_3-Gehalt entspricht. Wenn m die Zahl der Grammolekel ohne Dissoziation ist, so wird infolge der Dissoziation die Zahl der Molekeln

$$n = i\,m = m\,[1 + (K-1)\alpha].$$

Für NaCl ist K = 2, für Na_2CO_3 K = 3.

Ist auf diese Weise die Konzentration der Elektrolytmolekel C_e im Molen ausgedrückt, wobei die Ionen als Moleküle gerechnet werden, so ermittelt man die osmotische Gesamtkonzentration C_0 durch die Gefrierpunktsbestimmung. Es ist dann $C_0 - C_e = C_{ne}$ die Konzentration der Nichtelektrolyte. Im wesentlichen kommen hierbei nur die organischen Moleküle in Betracht.

Beispiel. (Bugarszky und Tangl.)

Pferdeserum.

I. 1.	NaCl Gehalt	= 0,086 G. Äquiv. im Liter
2.	Dissoziationsgrad einer NaCl Lösung dieser Konzentration	α = 0,841
3.	Im Blutserum NaCl + Na + Cl Molen	= 0,158 Mol pro Liter (C_{NaCl}).
II. 1.	Korrig. spez. elektr. Leitfähigkeit des Serums (bei 18° C).	$118{,}0 \times 10^{-8}$ (reziprok Siemens Einheit mit 1,063 multipliziert gleich der neuen Einheit in Ohm).
2.	Spez. elektr. Leitfähigkeit (bei 18°C) einer NaCl Lösung von der Äquiv. Konzentration 0,086 G. pro Liter nach Kohlrausch	$74{,}9 \times 10^{-8}$
3.	Von der Leitfähigkeit des Serums entfallen auf die Achlorid Elektrolyte	$43{,}1 \times 10^{-8}$
4.	Nach Kohlrausch entspricht der Leitfähigkeit $43{,}1 \times 10^{-8}$ eine Na_2CO_3 Lösung vom Gehalt	0,0298 g Molekel im Liter
	Dissoziationsgrad dieser Na_2CO_3 Lösung	(α) 0,692
	Die osmotische Konzentration dieser Lösung ($Na_2CO_3 + \overset{+}{Na} + \overset{+}{Na} + CO_3$) $(1+[3-1]\,0{,}692)$ 0,298	0,071 Mol Ionen pro Liter.
III. 1.	Konzentration der gesamten Elektrolyte des Serums	0,229 Mol pro Liter. (C_e.)
	Gefrierpunktserniedrigung	Δ = 0,527° C
	osmotische Konzentration $\frac{0{,}527}{1{,}85}$	C_0 = 0,285 Mol pro Liter
	$C_0 - C_e$	= 0,056 Mol pro Liter. (C_{ne}.)

Die geschilderte Methode liefert für die im Serum gesuchten Konzentrationen zwar nicht genau richtige Werte. Die osmotische Gesamtkonzen-

tration ist gültig für die Temperatur des Gefrierpunktes, die Leitfähigkeiten sind mit Rücksicht auf die unentbehrlichen Kohlrauschschen Zahlen bei 18° bestimmt; bei Körpertemperatur ist aber osmotische Konzentration und die Dissoziation eine andere. Die Berechnung des Dissoziationsgrades ist, wie Bugarszky und Tangl selbst angeben, insofern nicht streng richtig, als das gleichzeitige Vorhandensein derselben Ionen im $NaCl$ und Na_2CO_3 sowie die Nichtleiter den Dissoziationsgrad beeinflussen. Trotz dieser Abweichungen, sowie der besprochenen vereinfachenden Annahmen sind für das Blutserum die mit dieser Methode gefundenen Konzentrationswerte unbedenklich als richtige zu verwerten.

Osmotische Analyse des Harns. Die zur Ausführung der osmotischen Analyse des Harns neben der früher beschriebenen Kryoskopie notwendige Leitfähigkeitsbestimmung wird technisch nach den obigen Vorschriften gemacht. Bei der großen Zersetzlichkeit des Harnes ist derselbe zu diesem Zwecke entweder möglichst bald zu benutzen, oder er muß durch ein Antiseptikum vor der Zersetzung bewahrt werden. Einen unbedingten Schutz gibt aber die Anwendung eines Antiseptikums nicht; abgesehen von etwaigen Einflüssen eines nicht gut entfernbaren antiseptischen Stoffes sind noch Veränderungen in der Harnzusammensetzung nicht bakterieller Natur möglich. Schon eine Temperatur, die niedriger als die Körpertemperatur ist, kann bekanntlich Ausfallen von Stoffen veranlassen. Nicht gleichgültig für die Genauigkeit der Leitfähigkeitsbestimmung ist das Vorhandensein von schleimigen Trübungen; sie üben einen Einfluß aus. Da dieselben erst im Ureter oder aus der Blase hinzukommen, wird der wahre Wert der Leitfähigkeit des in der Niere abgesonderten Harnes herabgedrückt. Ein etwaiger Eiweißgehalt des Urins ist in der oben angegebenen Weise nach der Formel von Bugarszky und Tangl in Rechnung zu setzen. Man begeht hierbei einen kleinen Fehler, indem diese Korrektion streng genommen nur für die Eiweißkörper des Blutserums gilt. Die Leitfähigkeitsbestimmung des Harns führt man entweder bei 18° (wegen der Benutzung der vorhandenen Tabellen) oder bei Körpertemperatur aus*). Zur Verwendung kommt, wie bei Stoffwechselversuchen, der ganze Tagesharn oder, bei vergleichenden Untersuchungen nach experimentellen Eingriffen, einzelne Harnportionen.

Eine osmotische Analyse von der Genauigkeit wie diejenige des Blutes ist beim Harn zurzeit nicht möglich. Wenn der Harn Kochsalz enthält, (er kann Kochsalzfrei sein) kann man wie beim Serum die auf Kochsalz kommende Leitfähigkeit berechnen. Doch wird der Ansatz für die Dissoziation des $NaCl$ deshalb noch weniger richtig wie beim Serum, weil im Harn noch mehr andere die Dissoziation beeinflussenden Ionen vorhanden sind. Eine wirklich genaue Auswertung der Achloridelektrolyte des Harnes ist nicht möglich, weil im Harn sehr zahlreiche Stoffe an der Leitfähigkeit beteiligt sind. Steyrer hat folgenden Weg eingeschlagen um die Elektrolytkonzen-

*) Anmerkung: Steyrer setzt als Temperaturkoeffizient des Harns 0,02 und reduziert die gefundene Leitfähigkeit auf 18° nach der Formel von Ostwald

$$K_{18} = \frac{K-}{1 + 0{,}0_0\,(t-18)}$$

tration des Harns zahlenmäßig auszudrücken. Nach Bestimmung der Leitfähigkeit des Harns wurde die Konzentration der leitenden Moleküle ausgedrückt durch den Normalgehalt einer NaCl Lösung von gleicher Leitfähigkeit η, der Dissoziationsgrad α, welcher dieser Konzentration entspricht, wird ermittelt und somit die Konzentration der gesamten leitenden Moleküle C_e gefunden; schließlich wurde, nach Ermittlung des wirkenden Cl Gehaltes, die Konzentration der nicht aus NaCl herrührenden Moleküle ε berechnet. Dreser hat, unter Verzicht auf genauere Konzentrationsbestimmungen, mit Hilfe der Gefrierpunktserniedrigung und Leitfähigkeit die Ausfuhr von Stoffen durch den Harn analysiert. Ist $\frac{v}{t}$ das Minutenvolum des Harns, Δ die Gefrierpunktserniedrigung, so ist $\Delta \times \frac{v}{t}$ die Gesamtzahl der Moleküle der ausgeschiedenen osmotisch wirksamen Bestandteile; $\frac{v}{t} \times \lambda$ oder $\frac{v}{t \times \Lambda}$ (Λ = elektr. Leitungswiderstand des Harns) ist ein Maß für die ausgeschiedenen Salzmengen. Bei gleichbleibendem Gefrierpunkt Δ^0 läßt sich das Verhältnis der Nichtelektrolyte (vornehmlich Harnstoff) zu den Elektrolyten durch das Produkt $\Delta \times \Omega$ feststellen. Da das Leitvermögen $\lambda = \frac{1}{\Omega}$ wächst mit der Anzahl der dissoziierten Moleküle bez. mit dem Salzgehalt, muß $\Delta \times \Omega$ abnehmen bei steigendem Salzgehalt, steigen bei höherem Nichtelektrolytgehalt.

Die rechnerischen Werte $\frac{\Delta^0}{\text{NaCl}}$, $\frac{\Delta^0}{\lambda}$, $\frac{\lambda \times 10^6}{h}$ $\frac{\text{Leitfähigkeit}}{\text{Aschengehalt}}$ bedürfen methodisch keiner Besprechung; über ihre Bedeutung und Verwendbarkeit vergl. die Spezialschriften.

Osmotische Analyse anderer Flüssigkeiten. In der Technik und Berechnungsart ist die Bestimmung der Leitfähigkeit anderer tierischer Flüssigkeiten analog derjenigen bei Blut und Harn. Bei der Milch kommt in Betracht die Leitfähigkeitsherabsetzung, den die suspendierten Partikel und der Eiweißgehalt der Milch haben; sodann daß die Art der Gewinnung der Milch und der Zustand derselben einen sehr großen Einfluß auf die jeweilige Leitfähigkeit haben. Verbunden mit der Gefrierpunktsbestimmung wird die Ermittlung der Leitfähigkeit sowohl bei der Milch wie bei den anderen tierischen Flüssigkeiten einen angenäherten Ausdruck für die Gesamtkonzentration einerseits und die Konzentration an Elektrolyten andrerseits geben; der Grad der Annäherung wird wachsen mit der Zahl der einzelnen Stoffe, welche man in den betreffenden Flüssigkeiten einzeln chemisch bestimmen kann.

Physiologische Leitfähigkeit. (Oker-Blom). Verdünnt man irgend eine tierische Flüssigkeit und berechnet man die so erhaltene Leitfähigkeit auf diejenige der unverdünnten Flüssigkeit, so erhält man die der betreffenden Verdünnung entsprechende „physiologische Leitfähigkeit". Dieselbe wächst mit der Verdünnung. Man kann den Einfluß der Verdünnung auf die Leitfähigkeit benutzen, um den „Dissoziationsgrad" der betreffenden Flüssigkeit zu bestimmen. Wenn bei wachsender Verdünnung der Wert

für die physiologische Leitfähigkeit nicht mehr zunimmt, kann die Flüssigkeit als vollständig dissoziiert angesehen werden und diese Leitfähigkeit dividiert in die unverdünnte Leitfähigkeit gibt den Dissoziationsgrad α der Flüssigkeit unverdünnt. Der richtige Wert, wie bei einer einfachen Lösung, wird hierbei nicht erhalten, weil bei der Verdünnung einer tierischen Flüssigkeit nicht allein der von der Verdünnung abhängige Dissoziationsgrad geändert wird, sondern auch mehrere andere Faktoren, welche auf die Leitfähigkeit von Einfluß sind, z. B. bei eiweißhaltigen Flüssigkeiten der Eiweißgehalt, oder der Einfluß anderer Nichtleiter.

Abteilung 6. Biologische Methoden zur Bestimmung des osmotischen Druckes.

1. Plasmolytische Methode.

Die plasmolytische Methode (H. de Vries) stellt die Konzentration derjenigen Lösung fest, welche denselben osmotischen Druck besitzt, beziehentlich isosmotisch oder isotonisch ist, mit dem Zellsaft gewisser Pflanzen. Werden bestimmte Pflanzenzellen in Lösungen gebracht, welche konzentrierter sind als ihr Inhalt, so zieht sich der Protoplast von der Zellmembran zurück: ist die Konzentration kleiner als diejenige des Zellinhaltes, so tritt die Ablösung nicht ein. Man sucht diejenige Konzentration auf, bei welcher gerade noch Plasmolyse eintritt und eine ganz benachbarte Konzentration, bei welcher sie nicht mehr eintritt; zwischen diesen beiden Grenzen liegt diejenige Konzentration der Lösung, welche mit dem Zellinhalt isotonisch ist. Werden mit verschiedenen Lösungen an denselben Pflanzenzellen die Konzentrationen aufgesucht, welche isotonisch mit dem Zellinhalt sind, so sind diese Lösungen auch unter sich isotonisch. Man benutzt entweder Tradescantia discolor oder Curcuma rubricaulis oder die Blattschuppen von Begonia manicata; letztere ist für nicht zu sauere Flüssigkeiten brauchbar; die erstgenannte Pflanzenzelle ist am leichtesten jeder Zeit zu haben. Man schneidet mit einem Rasiermesser dünne Scheibchen Pflanzengewebe, bringt sie in die betreffenden Lösungen und beobachtet im Mikroskop bei 60—100 facher Vergrößerung, um die beiden Grenzen festzustellen. Bedingung für die Anwendbarkeit der Methode ist, daß 1. die Pflanzenzelle undurchlässig ist für die gelöste Substanz und daß 2. die letztere keine schädigende Wirkung auf das Protoplasma besitzt.

Man wendet diese Methode in der Physiologie wesentlich dazu an, um mit Hilfe der Plasmolyse zu untersuchen, mit welcher Kochsalzlösung eine tierische Flüssigkeit, z. B. Serum oder Harn isotonisch ist. Hamburger z. B. gibt an, daß die seröse Flüssigkeit, welche in der Hälfte der Zellen im Gesichtsfeld Plasmolyse hervorgerufen hat, isotonisch ist mit der Kochsalzlösung, welche dasselbe herbeigeführt hat. Zuerst wird diejenige Kochsalzlösung aufgesucht, welche mit dem Pflanzenzellsaft isotonisch ist. Hinsichtlich der tierischen Flüssigkeit kann der Fall eintreten, daß sie konzentrierter oder weniger konzentriert als die mit dem Zellsaft isotonische Kochsalzlösung ist; im ersteren Fall wird sie so lange mit Wasser verdünnt, im zweiten Fall durch Zusatz von z. B. 5 % Kochsalzlösung konzentriert, bis der gewünschte plasmolytische Effekt eintritt, worauf man aus der Verdünnung bez. Konzentrierung die Konzentration der Kochsalzlösung, mit welcher die ursprüngliche

Lösung isotonisch ist, berechnet. Die Methode ist von einer großen Genauigkeit und gibt Werte, die innerhalb 0,1 % genau sind. Sie kann auch gebraucht werden, um zu experimentellen Zwecken Lösungen herzustellen, die mit einer Standardlösung isotonisch sind.

Die isotonischen Koeffizienten: Lösungen, welche auf Grund der plasmolytischen Methoden als isotonisch befunden werden, verhalten sich in ihren Konzentrationen teils wie ihre Molekulargewichte, teils aber wie ihre Molekulargewichte multipliziert mit einer bestimmten Zahl, von de Vries isotonische Koeffizienten genannt. Dies rührt von dem Einfluß der elektrolytischen Dissoziation her. Die isotonischen Koeffizienten, welche bei der Vergleichung von zwei nicht zur gleichen Gruppe von Substanzen gehörenden Stoffe angewendet werden, sind

Für organische metallfreie Verbindungen	(z. B. Rohrzucker)	2
für d. Alkalisalze der einbasischen Säuren	(z. B. NaCl)	3
für d. neutralen Alkalisalze d. zweibasischen Säuren	(z. B. K_2SO_4)	4
für d. neutralen Alkalisalze d. dreibasischen Säuren	(z. B. Na_3BO_3)	5
für d. Erdalkalisalze d. einbasischen Säuren	(z. B. $MgCl_2$)	4

Diese isotonischen Koeffizienten sind wiederum die Summe von folgenden partiellen Koeffizienten

jeder Säurerest	2
jedes Atom eines Alkalimetalls	1
jedes Atom eines Erdalkalimetalls	0

Berechnungsbeispiel: Eine Lösung von $2 \times 58,5$ gr NaCl pro Liter ist isotonisch mit einer Lösung von 3×342 gr Rohrzucker pro Liter. Folglich eine NaCl Lösung von 0,9 % isotonisch mit einer Rohrzuckerlösung von

$$\frac{0,9}{2 \times 58,5} \times 3 \times 342 = 7,89\ \%.$$

Die isotonischen Koeffizienten sind für den praktischen Gebrauch abgerundete Zahlen und entsprechen deshalb nicht genau dem Grade der Dissoziation.

Osmotometrische Methode von Overton. Overton benutzt die Plasmolyse um festzustellen, ob bestimmte gelöste Substanzen auf diosmotischem Wege in das Protoplasma eindringen oder nicht. Zunächst wird mit der Lösung eines unschädlichen Stoffes von bekannten Molekulargewicht (eventuell auch bekannter Dissoziation) die plasmolytische Grenzkonzentration aufgesucht. Sodann wird der zu untersuchende Stoff zu einer Konzentration aufgelöst, daß dieselbe zur plasmolytischen Grenzkonzentration des ersten sich verhält, wie die beiderseitigen Molekulargewichte (bei Elektrolyten ist die Dissoziation in Rechnung zu ziehen). Da beide Lösungen dann isotonisch sind, wird auch die zweite gerade beginnende, dauernde Plasmolyse hervorrufen, wenn deren gelöste Substanz nicht in das Protoplasma dringt. Ist die zu untersuchende Verbindung wenig löslich oder schon bei niedriger Konzentration für die Zelle schädlich, so löst man eine kleine Menge dieses Körpers in der ersten Lösung auf und beobachtet, ob die Plasmolyse eine dauernde Zunahme erfährt oder nicht. Im ersteren Falle dringt der untersuchte Körper nicht merklich in das Protoplasma ein.

Methode der gerbstoffhaltigen Zellen. (Overton). Zum Studium des Eindringens von Alkaloiden, sowie auch anderer Stoffe, die mit Gerb-

stoff einen Niederschlag geben, in die Zelle verwandte Overton gerbstoffhaltige Zellen, insbesondere die Fäden von Spirogyae. Das Eindringen der Stoffe wird kenntlich durch das Auftreten eines Niederschlags in Form von Tropfen. (Die theoretische Diskussion dieser Erscheinungen siehe Overton).

Genauigkeit der plasmolytischen Methode. Zum Zwecke der Vergleichung zweier Lösungen auf ihre Isotonie, somit auch zur Messung des osmotischen Druckes einer Lösung verglichen mit einer anderen, ist die plasmolytische Methode von einer großen Genauigkeit, jedenfalls von derselben wie die Gefrierpunktsbestimmung. Zum Studium der Permeabilitätsverhältnisse von Zellen ist dieselbe nach Hamburger weniger genau. Das Eintreten von Plasmolyse, welche von einer bestimmten Konzentration an nicht mehr zurückgeht, ist zwar beweisend für Nichtpermeabilität der Zelle für den betreffenden Stoff. Hingegen kann ein isosmotischer Austausch zwischen der umgebenden Flüssigkeit und den Stoffen des Zellinhaltes nicht hinreichend scharf mit der plasmolytischen Methode erkannt werden.

2. Blutkörperchenmethode von Hamburger.

Prinzip: Unterhalb einer bestimmten Konzentration verursachen Salzlösungen Farbstoffaustritt aus roten Blutkörperchen. Salzlösungen, welche einen beginnenden Farbstoffaustritt aus demselben Blut veranlassen, erweisen sich untereinander als isotonisch, besitzen denselben osmotischen Druck. Beim Vergleich von Lösungen verschiedener Stoffe, die eben Farbstoffaustritt veranlassen, gelten die oben genannten isotonischen Koeffizienten. Ihre rechnerische Verwertung ist die gleiche wie oben.

Bestimmung des osmotischen Druckes von Lösungen. Voraussetzung der Anwendung der Blutkörperchenmethode zu diesem Zwecke ist, daß die zu untersuchende Lösung mit einer Lösung verglichen werden kann, deren bekannter osmotischer Druck oder deren bekannte Konzentration als Ausgangspunkt dient. Man bringt etwa 20 cm³ der Vergleichslösung und der zu untersuchenden Lösungen in Reagensgläser, versetzt dieselben mit 0,5 cm³ defibriniertem Blut, z. B. Rinderblut, vermischt und läßt stehen, bis die Blutkörperchen sich zu Boden gesetzt haben. Hat die Vergleichslösung gerade die Grenzkonzentration, bei welcher sich die Blutkörperchen in einer farblosen Flüssigkeit absetzen, so sind bei den zu untersuchenden Lösungen die beiden Konzentrationen zu ermitteln, bei welcher einerseits gerade eine farblose Schicht und andrerseits gerade eine schwachrot gefärbte Schicht stehen bleibt; hiermit ist die Grenzkonzentration der mit der Vergleichslösung isotonischen Flüssigkeit gefunden. Bei Salzlösungen läßt sich hierbei eine Genauigkeit von 0,1 % und weniger erreichen. Von Druck und Temperatur ist der Hämoglobinaustritt unabhängig; hingegen erfordert defibriniertes Blut eine etwas höhere Konzentration zum Unterbleiben des Farbstoffaustrittes als nicht defibriniertes. Ausgeschlossen bei dieser Methode sind Lösungen von Säuren, von Laugen, von Chlorammonium, von Harnstoff und Glyzerin.

Eine besondere Anwendung dieser Methode zur Herstellung isotonischer Lösungen von etwas größerer Konzentration, welche zur intravenösen Injektion dienen sollen, rührt von Magnus her. Nach einer konzentrierten Ausgangslösung von bekanntem Gehalt wurde mit Hilfe der Blutkörperchen-

methode die ihr isotonische zweite Lösung hergestellt. Die Isotonie wird also bei größerer Verdünnung hergestellt; dies hat den Vorzug gegenüber der Bestimmung mit Hilfe der Gefrierpunktserniedrigung, daß die gleiche osmotische Spannung für Verdünnungen ermittelt wird, welche denen sehr viel näher kommen, die die betreffenden Infusionsflüssigkeiten im Körper erleiden, wobei also auch der Dissoziation Rechnung getragen wird, und zweitens dienen als Reagens tierische Zellen.

Anwendung der Blutkörperchenmethode zur Untersuchung des Übertrittes von Substanzen in die roten Blutkörperchen. (O. Loewi). In Zentrifugierröhrchen werden 1 cm³ Blut und 20 cm³ 0,8 % Na Cl Lösung, bez. 20 cm³ derselben, worin der auf sein Vermögen in rote Blutkörperchen einzudringen zu untersuchende Stoff gelöst ist, gebracht. Nach kurzem Zentrifugieren haben sich die Blutkörperchen völlig abgesetzt und die darüber stehende Flüssigkeit ist ganz ungefärbt. (Der zu untersuchende Stoff muß für die Blutkörperchen im übrigen indifferent sein). Sie wird abgegossen und die Blutkörperchen werden mit 0,8 proz. Na Cl Lösung versetzt zentrifugiert. Danach ist die überstehende Flüssigkeit in 1 völlig farblos, während in 2 Hämoglobinaustritt stattgefunden hat, falls von der untersuchten Substanz etwas in die roten Blutkörperchen eingetreten ist.

Bestimmung des osmotischen Druckes von Serum. (Hamburger). Die Blutkörperchen sind mit ihrem eignen Serum isotonisch. Nun ist diejenige Salzlösung, bei welcher gerade Blutfarbstoff austritt, durchaus nicht isotonisch mit dem Blutkörpercheninhalt. (Die Konzentration, bei welcher das eintritt, hängt bei den einzelnen Blutkörperchen von verschiedenen Faktoren ab). Dem entspricht auch, daß bei einer bestimmten Verdünnung das Serum ebenfalls Farbstoffaustritt bewirkt. Die so gefundene Serumverdünnung ist nun isotonisch mit derjenigen Salzlösung, bei welcher Farbstoffaustritt stattfindet. Hieraus berechnet sich, mit welcher Salzlösung das unverdünnte Serum isotonisch ist. Beispiel: Muß man z. B. 2,5 cm³ Serum mit 1,5 cm³ Wasser verdünnen, um beginnenden Farbstoffaustritt herbeizuführen und bewirkt eine 0,6 % Na Cl Lösung dasselbe in gleichem Grade, so ist das unverdünnte Serum mit einer $\frac{2,5 + 1,5 \times 0,6\,\%}{2,5} = 0,96\,\%$ Na Cl Lösung isotonisch.

(In aller Strenge ist dieser Ansatz nicht richtig; doch heben sich die kleinen Fehler entgegengesetzter Richtung hierbei auf). Die Gefrierpunktsbestimmung ergibt denselben Wert wie diese Methode der Blutkörperchen.

Eine genaue, nur wenig Blut erfordernde Methode, hat Hamburger ausgearbeitet, die auch nur kurze Zeit erfordert. Er benutzt trichterförmige Röhren, die unten in einen kapillaren, graduierten zugeschmolzenen Hals übergehen, der 0,04 cm³ faßt. Das Absitzen in diesen Röhren erfolgt beschleunigt mit Hilfe der Zentrifuge. Da nach des Urhebers Meinung seiner Methode jedoch die Gefrierpunktsbestimmung vorzuziehen ist, wenn man im Besitz einer für kleine Mengen eingerichteten Gefrierapparates ist, so sei wegen der Details auf Hamburgers Beschreibung im Osmot. Druck Bd. I, p. 440 verwiesen.

Bei jeder Art Anwendung der Blutkörperchenmethode wird man mit Vorteil sich der Zentrifuge und Röhrchen von stets gleichen Dimensionen

bedienen. In gewissen Fällen kann die Konstatierung der Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobins durch ein Spektroskop die Bestimmung verschärfen.

Verbindung der Blutkörperchenmethode mit der Gefrierpunktsbestimmung. (Hamburger). Sind in einer Flüssigkeit (z. B. Harn) Stoffe gelöst, welche sich gleichmäßig auf Blutkörperchen und Umgebung verteilen, so lassen sie die Grenzkonzentration, bei welcher eben Blutfarbstoff austritt, unverändert. Man ermittelt nun durch Verdünnung der Flüssigkeit den Farbstoffaustritt und berechnet mit welcher Kochsalzlösung die unverdünnte Flüssigkeit isotonisch ist. Der Gefrierpunkt einer Kochsalzlösung von solcher Konzentration wird bestimmt oder berechnet. Der Wert wird abgezogen von dem Werte des Gefrierpunktes der ursprünglichen Flüssigkeit und man erhält in dieser Differenz den Anteil der sich gleichmäßig auf Blutkörperchen und Umgebung verteilenden Substanzen. Beim Harn würde das vor allem der Harnstoff sein. (Der Grundgedanke dieser Methode kehrt in der oben beschriebenen, von O. Loewi später veröffentlichten Methode wieder).

3. Bestimmung des osmotischen Druckes mit dem Hämatokrit.

Prinzip: Das von Grijns und Hedin stammende Verfahren beruht auf der Tatsache, daß das Volum der roten Blutkörperchen sich ändert, wenn sie in Lösungen gebracht werden, deren osmotischer Druck von demjenigen ihres Inhalts verschieden ist. In Lösungen, deren osmotischer Druck größer ist, wird das Volum der Blutkörperchen kleiner, in solchen, deren osmotischer Druck kleiner ist, umgekehrt größer, beides infolge von Wasser Ein- oder Austritt. Alle Lösungen, welche gerade das Blutkörperchenvolum unverändert lassen, sind untereinander und mit dem zugehörigen Blutserum isotonisch. Hierauf gründet sich ein Verfahren zur Bestimmung des osmotischen Druckes von Serum. Andrerseits, da die Volumänderung durch den Unterschied des osmotischen Druckes von Flüssigkeit und Blutkörpercheninhalt hervorgerufen wird, sind Lösungen, welche die gleiche Volumänderung bewirken, untereinander isotonisch. Die zur Messung des Blutkörperchenvolum dienende Vorrichtung ist der Hämatokrit, ein graduiertes Röhrchen, in dem durch Zentrifugieren eine Scheidung von Blutkörperchen und darüber stehende Flüssigkeit bewirkt wird. Nicht anwendbar ist die Methode für alle Stoffe, welche Hämolyse bewirken, und für solche gelöste Substanzen, welche zwar am osmotischen Druck der Flüssigkeit einen Anteil haben, aber weil sie in die Blutkörperchen eintreten, das Volum der Blutkörperchen nicht beeinflussen. Mit Rücksicht auf letzteren Punkt dient die Methode auch dazu, die Permeabilität der Blutkörperchen für Stoffe zu untersuchen.

Der Hämatokrit: Es sind eine Reihe von Hämatokriten beschrieben worden, von welchen die von Kottmann und von Hamburger konstruierten Formen bisher die genauesten Resultate liefern.

Der Kottmannsche Präzisionshämatokrit (verfertigt von Optiker Büchi in Bern) besteht aus Röhrchen, deren Lichtweite 0,5 mm, deren Länge $12^1/_2$ cm, der Kubikinhalt 0,092 cm³ beträgt. Die Graduierung erfolgt in Abständen von 0,5 mm; es bedeuten die Zwischenräume Volumina von nur 0.2 Proz. des Gesamtröhrcheninhalts; mit Hilfe der Lupe kann bis auf 0,05 Proz. geschätzt werden. Die feine Einteilung beschränkt sich auf die Grenzzahlen 8—52 Proz., die Volumina vor und nachher sind durch ampullenartiges Aufblasen der Enden der Röhrchen auf ein Minimum reduziert. Die Röhrchen

kommen behufs absolut sicheren Verschluß in einen eigenen Zentrifugenaufsatz. Siehe Fig. 24a-c.

Durch die Schraube, welche durch a geht, kann das Röhrchen zwischen den mit Kautschukplatten belegten Widerlagern (b) wie in einem Schraubstock so zusammen-

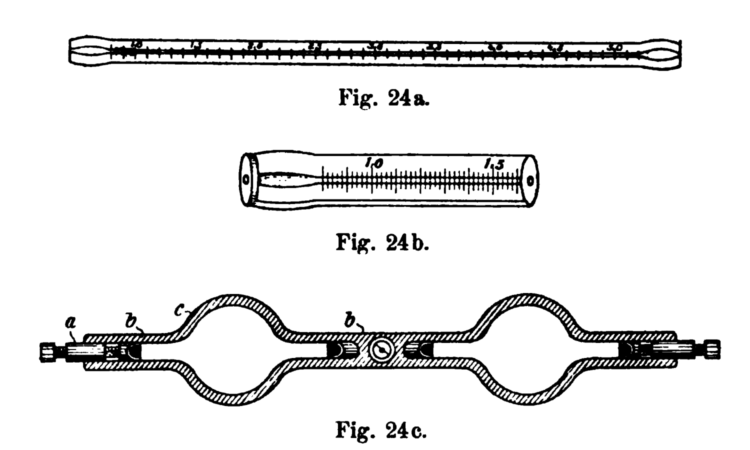


Fig. 24a.

Fig. 24b.

Fig. 24c.

gepreßt werden, daß jeder Substanzverlust beim Zentrifugieren absolut unmöglich wird. Damit die Röhrchen zur Vermeidung jeden Blutverlustes beim Einspannen horizontal in den Verschluß gebracht werden können, zeigen die zentralen und peripheren Aufnahmehälse an ihrer nach oben gekehrten Fläche längsgestellte Ausschnitte. Die Ausbuchtung (c) ist nötig, damit die Finger ohne jegliche Schwierigkeit die Röhrchen plazieren können. Die Stärke der Röhrchen widersteht selbst ziemlich starkem Druck im Schraubstock.

Das Trichterröhrchen von Hamburger (siehe Figur 25) besteht aus einem Trichter, dessen Inhalt etwa $2^1/_2$ cm³ beträgt und in einem unten zugeschmolzenen Kapillarrohr endet. Dasselbe ist in 100 Teile genau kalibriert. Der kalibrierte Teil hat bei einer Länge von 57 mm einen Inhalt von 0,01 cm,³ der Raum zwischen 2 Teilstrichen entspricht also einem Volumen von 0,0001 cm³. Die Röhre muß sehr genau mit Quecksilber kalibriert werden. Die Trichterröhrchen sind mit einem Ebonitkäppchen verschlossen, deren genaues Passen in dem Trichter durch einen umgelegten Kautschukring gesichert wird. (Bequemer zum Arbeiten sind Trichterröhren, deren kapillarer Teil 0,02 cm³ faßt.)

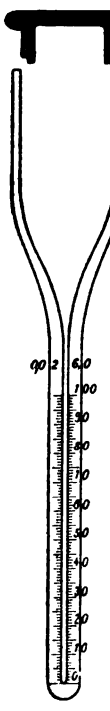


Fig. 25.

Die Füllung des Trichterröhrchens von Hamburger mit Blut (0,02 beziehentlich 0,04 cm³) erfordert einige Sorgfalt. Das Trichterröhrchen wird im oberen Teil vorerst mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt. Die Kapillarpipette, in welcher sich das unter den nötigen Kautelen aufgesaugte Blut befindet, wird in die Flüssigkeit des trichterförmigen Röhrchens getaucht und die Flüssigkeit bis zum Teilstrich 0,02 angesogen, dann ausgeblasen und die Prozedur mehrfach wiederholt. Vor der ersten Abmessung muß die Pipette mit einer NaCl Lösung von 0,9% benetzt werden, um unter stets gleichen Bedingungen zu arbeiten. Nach Verschluß mit dem Ebonitkäppchen bewegt man die Mischung von Blut und Flüssigkeit einige Mal hin und her, da ein Umrühren mit einem Stäbchen die Mischung nicht hinreichend homogen macht.

Die Zentrifuge: Die Untersuchung mit dem Hämokrit erfordert eine sehr rasch und gleichmäßig gehende Zentrifuge. Hamburger arbeitet mit einer solchen von 3000 Umdrehungen in der Minute, Kottmann ist mit einer von Klingelfuß in Basel gebauten Zentrifuge zu noch höheren Tourenzahlen gelangt. Das Auslaufen soll ganz allmählich geschehen, damit kein Aufwirbeln des Sedimentes eintritt. Bei sehr hoher Tourenzahl wirkt auf die Blutkörperchen am Ende der Röhrchen ein recht hoher Atmosphärendruck, z. B. bei 5000 Touren pro Minute ist am Ende eines Röhrchens von 7 cm Länge ein Druck von 8,517 Atm. (Grijns), in der Mitte ein solcher von 2,602 Atm. Bei so großen Differenzen dürfte Flüssigkeitsverdrängung kaum ausgeschlossen sein, ein Faktum, das zu berücksichtigen ist.

Osmotische Druckmessung geringer Flüssigkeitsmengen. (Hamburger). Man nimmt 6 Trichterröhrchen (siehe oben) und bringt in das erste 0,25 cm³ oder mehr der zu untersuchenden Flüssigkeit und in die 5 anderen dasselbe Volumen an Kochsalzlösungen steigender Konzentration. Die genannten Flüssigkeiten werden versetzt mit derselben Menge defibrinierten und durch Filtrierpapier filtrierten Bluts, nämlich 0,02 beziehentlich 0,04 cm³. Nachdem die Trichterröhrchen verschlossen und geschüttelt worden sind, werden sie $^1/_2$—$^3/_4$ Stunden sich selbst überlassen und dann bis zum Eintritt von konstantem Volum zentrifugiert. Der osmotische Druck der zu untersuchenden Flüssigkeit entspricht dann derjenigen Kochsalzlösung, welche den Blutkörperchen dasselbe Volumen erteilte, wie die zu untersuchende Flüssigkeit selbst. Das Resultat läßt sich kontrollieren, indem man die Flüssigkeiten, welche in der vorigen Versuchsreihe im trichterförmigen Teil der Röhrchen sich befinden, abhebt und in neue Röhrchen überbringt, aufs neue mit gleichem Quantitäten Blut versetzt, schüttelt, wartet und zentrifugiert, bis zum konstanten Volum. Die nunmehrigen Sedimentvolumina sollen genau dieselbe Kochsalzlösung als diejenige anzeigen, welche mit der zu untersuchenden Flüssigkeit isotonisch ist und auch in der ersten Versuchsreihe gefunden wurde. Hat man 1 cm³ Flüssigkeit zur Verfügung, so empfiehlt es sich, Röhrchen von 0,04 cm³ Kapillarinhalt zu verwenden; hierzu gebraucht man 0,08 cm³ Bluts. Die Kontrolle dieser Methode mit größeren Mengen vermittelst der Gefrierpunktsbestimmung hat deren Genauigkeit erwiesen. Dieselbe kleine Flüssigkeitsmenge, die man zur Bestimmung des osmotischen Druckes zur Verfügung hat, kann man zwei oder mehrmal benutzen.

Spezielle Anwendung. Zur Bestimmung des osmotischen Drucks des Serums beziehentlich Plasmas ist die Methode des Hämatokriten in der Hamburgerschen oder Kottmannschen Form sehr geeignet, insbesondere seitdem im Hirudin ein Mittel vorliegt, welches die Gerinnung des Blutes aufhebt ohne eine Veränderung des osmotischen Drucks des Blutes zu setzen. Diejenige Kochsalzlösung, welche dasselbe Volumen Blutkörperchen liefert wie das mit Hirudin versetzte Blut ist mit dem letzteren isotonisch. Sehr kleine Schwankungen des osmotischen Druckes sind hierdurch nachweisbar. Dieselbe Methode dient, wie leicht ersichtlich, auch dazu, um das Volumen der körperlichen Elemente im Blute zu bestimmen, worauf hier nur hingewiesen sein möge. Obwohl die Methode bis jetzt nicht für andere tierische Flüssigkeiten angewandt worden ist, steht deren Benutzung, unter Berück-

sichtigung der eingangs erwähnten Ausnahmen, prinzipiell nichts im Wege. Sie ist z. B. sehr brauchbar für die Untersuchung des Kammerwassers, der Glaskörperflüssigkeit, der Endo- und Perilymphe, der Zerebrospinalflüssigkeit, hingegen ungeeignet für Harn und Galle.

4. Bestimmung des osmotischen Druckes mit der plethysmographischen Methode. (Demoor).

Die Methode von Demoor beruht auf einem ähnlichen Prinzip wie diejenige des Hämatokrit. Die zu untersuchenden Zellenkomplexe beziehentlich Organe werden von Salzlösungen verschiedener Konzentration durchspült; ihr Volum bleibt konstant in annähernd isotonischen Lösungen, es schwillt in hypotonischen und verringert sich in hypertonischen Salzlösungen. Das zuuntersuchende Organ (Leber, Niere, Lunge) wird unter Vermeidung jeder Verletzung und bei sorgfältiger Abbindung aller Blutgefäße, außer dem ab und zuführenden Gefäße für die Zu- und- Abflußkanüle aus dem Körper entfernt. Es wird in ein Gefäß versenkt, welches mit flüssiger Vaseline gefüllt ist und mit Ausschluß von Luft verschlossen wird. Der Verschlußdeckel wird durchbohrt von Öffnungen für die beiden Kanülen und einem Rohre, welches mit einem Mareyschen Tambour verbunden ist. Letzterer dient zur Registrierung der Volumenschwankungen. Die zu durchströmenden Flüssigkeiten stehen in einer Reihe leicht auswechselbarer Mariotte'scher Flaschen. Ehe die Flüssigkeit in das Organ tritt, wird sie in einer im Wasserbade liegenden Spirale vorgewärmt. Die ganze Apparatur muß luftdicht verschlossen sein. Der Ausfluß wird so reguliert, daß er konstant bleibt; eine Änderung der Durchströmungsgeschwindigkeit ändert auch das Volum des Organs. Die durch Konzentrationsänderung herbeigeführten Volumschwankungen treten innerhalb $1\frac{1}{2}$ Minuten auf. Die Genauigkeitsgrenzen der Methode sind derart, daß z. B. eine 1% NaCl Lösung keine, eine 0,8% NaCl Lösung aber eine sehr deutliche Volumänderung gibt. Eine Quelle von Versuchsfehlern liegt darin, daß in manchen Versuchen ohne erkennbare Ursache ein Ödem des durchströmenden Organs eintreten kann.

Teil V. Bestimmung der Konzentration der H und OH Ionen und die Methoden zur Messung der Reaktionsgeschwindigkeit.

Die Konzentration der H und OH Ionen ist physikalisch-chemisch der Ausdruck für die Azidität beziehentlich Alkalinität einer Flüssigkeit, im Gegensatz zu dem durch die Titration gefundenen Werte für Azidität und Alkalinität. Die Konzentration der H und OH Ionen ist weiter von Interesse zur Beurteilung einer Reihe von Wirkungen, welche von der Ionenkonzentration abhängig sind. Die Methoden zur Messung der Ionenkonzentration beruhen meist auf der Benutzung irgend einer Wirkung der Ionenkonzentration auf einen physikalischen oder chemischen Vorgang.

1. Methode der Konzentrationsketten.

Prinzip: Die Methode beruht auf einer Messung der elektromotorischen Kraft, welche entsteht durch die Konzentrationsdifferenz der zu untersuchenden Ionen an den Elektroden eines Elementes, welches als Konzen-

trationskette bezeichnet wird. Taucht eine Metallelektrode in eine Flüssigkeit, an welche sie Ionen abgibt, so ist nach der Theorie von Nernst die entstehende Potentialdifferenz

$$\pi = \frac{0{,}000198}{n} T \log. \frac{P}{p} \text{ Volt abgerundet für } 0{,}000198\text{: } 0.0002$$

wo T die absolute Temperatur, n die Wertigkeit des Metalls, P der elektrolytische Lösungsdruck (eine Konstante) und p der osmotische Druck der zur Elektrode gehörigen Ionen ist.

Wird eine Kette zusammengestellt, welche aus zwei gleichen Metallelektroden besteht, von welchen die eine in eine konzentrierte Lösung desselben Ions taucht, die andere in eine verdünntere, so ist

$$\pi = \frac{0{,}0002}{n} T. \log \frac{P}{p_1} - \frac{0.0002\ T}{n} \log \frac{P}{p}$$

wo p_1 und p die beiden Ionenkonzentrationen sind. Die Konstante P fällt aus; es ist

$$\pi = \frac{0.0002}{n} T \log \frac{p}{p_1}\ ;\ \pi = \frac{0.0002}{n} T \log \frac{c}{c_1}$$

Für verdünntere Lösungen — solche kommen fast ausschließlich in Betracht im Organismus — kann man statt des Verhältnisses der osmotischen Drucke der Ionen das der Konzentrationen $\frac{c}{c_1}$ der Lösungen einführen. Außer dem Elektrodenpotential tritt in einer Konzentrationskette an der Berührungsstelle zweier verschieden konzentrierter Lösungen eine Potentialdifferenz, das Kontaktpotential, auf, wenn die in der Flüssigkeit vorhandenen Ionen eine ungleiche Wanderungsgeschwindigkeit haben. In gewissen Fällen, die man praktisch zu realisieren bestrebt ist, kann man das Kontaktpotential vernachlässigen. Die Potentialdifferenz an der Berührungsstelle von zwei verschieden konzentrierten Lösungen eines und desselben binären Elektrolyten ist $\pi = \frac{l_K - l_A}{l_K + l_A} \cdot \frac{0.0002}{n} \log \frac{c}{c_1}$ wo l_K und l_A die Wanderungsgeschwindigkeit von Kation bez. Anion ist.

Komplizierter ist die theoretische Behandlung in allen anderen Fällen, worauf hier nicht eingegangen wird, weil in praxi das Kontaktpotential zu beseitigen versucht wird. Die zur Messung der H und OH Ionen dienenden Konzentrationsketten sind sogenannte Gasketten. Platinierte Platinelektroden oder mit Palladiumschwarz bedeckte Palladiumelektroden oder Goldelektroden werden mit Wasserstoff gesättigt; diese Gaselektroden, welche H Ionen liefern oder aufnehmen, werden in die durch ihren H Gehalt sich unterscheidenden Lösungen getaucht; ist die Konzentration der H Ionen in der einen Lösung bekannt und die elektromotorische Kraft der Gaskette bestimmt, so berechnet sich daraus die Konzentration der H Ionen in der anderen Lösung. Zur Bestimmung der OH Ionen werden gleich konstruierte Gasketten benutzt, deren Elektroden aber mit Sauerstoff beladen werden. Die Natur des Elektrolyten kommt bei Messungen dieser Art Ketten nicht in Betracht. Da die entstehende elektromotorische Kraft nur abhängt von dem Konzentrationsunterschied der freien Ionen (abgesehen vom Kontaktpotential), so wird mit dieser Methode der augenblicklich wirksame Azidi-

täts- oder Alkalinitätsgrad einer Lösung und nicht, wie bei der Titration, die ganze Menge abspaltbaren Säure oder Basenradikals bestimmt.

Die OH Konzentration einer wässrigen Lösung kann auch gefunden werden durch Bestimmung der H Konzentration. Es ist das Dissoziationsprodukt $H \times OH$ gleich einer Konstante, nämlich $= 0.64 \times 10^{-14}$. Demnach gibt dieses Produkt, dividiert durch die experimentell gefundene H Konzentration, die gesuchte OH Konzentration. Andererseits kann man die Richtigkeit der durch Messung gefundenen Werte der H und OH Konzentration dadurch kontrollieren, daß ihr Produkt eben diese Konstante ergeben muß.

Die Berechnung der Ionenkonzentration aus der gefundenen Elektromotorischen Kraft π ergibt sich folgendermaßen:

$\pi = \frac{0.0002}{n} T \frac{\log C}{\log x}$; n für Wasserstoff ist 1; $T = 273 +$ der Temperatur, bei welcher die Messung angestellt wurde; $\log C =$ Konzentration der angewandten HCl Lösung, beziehentlich NaOH Lösung; bei nicht ganz verdünnten HCl Lösungen muß der Wert C noch multipliziert werden mit α, dem Dissoziationsgrad. Kann das Kontaktpotential an der Grenze der beiden Flüssigkeiten berechnet werden, so ist der Wert dieses Kontaktpotentials auf der rechten Seite obiger Formel noch abzuziehen. Die elektromotorische Kraft an der Grenze zweier verschieden konzentrierter Lösungen desselben Elektrolyten

$\pi = \frac{u - v}{u + v} \cdot 0.0575 \log \frac{c_2}{c_1}$ für $T = 17,^0$ wo u und v die Wanderungsgeschwindigkeiten des Kations und Anions bedeuten.

Wenn zwei verschiedene binäre Elektrolyte von gleicher Ionenkonzentration nebeneinander geschaltet sind, berechnet sich nach Planck

$\pi = 0.0575 \log \frac{u_1 + v_2}{u_2 + v_1}$, wo u_1 und u_2 die Wanderungschwindigkeit der beiden Kationen, v_1 und v_2 diejenige der Anionen bedeutet.

(Tabelle der Wanderungsgeschwindigkeiten siehe S. 171).

Ausführung.

1. Die Messung der elektromotorischen Kraft: Die Messung der elektromotorischen Kraft der fertigen Gaskette geschieht zumeist mit Hilfe der Kompensationsmethode (Höber hat sich der Fechnerschen Methode bedient). Da die letztere eingehend in einer anderen Abteilung dieses Werkes beschrieben wird, sind hier nur die für die vorliegende Messung hervorhebenswerten Punkte erörtert. Als Meßdraht dient der Ostwaldsche Meßdraht, welcher oben bei der Bestimmung der Leitfähigkeit beschrieben wurde. Der Meßdraht schließt ein Element, von dessen elektromotorischer Kraft ein durch Abzweigung gewonnener Teil dazu dient, die zu messende elektromotorische Kraft zu kompensieren; die elektromotorische Kraft des ersteren Elementes muß also größer sein als diejenige der zu messenden. Bei den in der Physiologie vorkommenden Fällen reichen hierzu ein Akkumulator oder zwei Daniellelemente aus. In dem vom Meßdraht abgehenden Zweig befindet sich das zu messende Element mit der elektromotorischen Kraft e, das Nullinstrument,

welches die erreichte Kompensation anzeigt, und einige Hilfsapparate. Durch Verschieben am Meßdraht wird ein Widerstand w eingeschaltet (gemessen in Skalenteilen), der im Zweig Stromlosigkeit macht. Sodann wird das Gaselement vertauscht mit einem Normalelement von der elektromotorischen Kraft E und wiederum durch Verschieben am Meßdraht eine Länge W gesucht, bei der Stromlosigkeit im Zweig besteht.

Dann ist $e = E \frac{w}{W}$.

Als Nullinstrument dient entweder ein Kapillarelektrometer oder ein Galvanometer nach dem d'Arsonvalprinzip, oder ein Saitengalvanometer nach Einthoven. Letzteres dürfte in der neueren Form von Edelmann wegen seiner Handlichkeit, Empfindlichkeit und Aperiodizität das empfehlenswerteste Instrument sein.

Grade in physiologischen Laboratorien ist dieser wohl sonst vielfach eingeführte Apparat dadurch, daß er die Vorzüge des Kapillarelektrometers mit denen des Galvanometers vereinigt, aber frei von mehreren Nachteilen beziehentlich Unbequemlichkeiten derselben ist, besonders zu physikalisch-chemischen Messungen geeignet. Die eine der Hilfsvorrichtungen, welche in den vom Meßdraht ausgehenden Zweig eingeschaltet wird, ist ein Kommutator, welcher gestattet entweder den die Konzentrationsketten enthaltenden Zweig oder einen parallel geschalteten anderen Zweig einzuschalten, welcher das Normalelement enthält. Ferner kommt in den Zweig entweder ein Ostwaldscher Stromtaster oder ein Elliotscher Schlüssel, beides Vorrichtungen, welche gleichzeitig einen kurz dauernden Kontaktschluß des Elementes und Öffnung der Nebenschließung nach dem Nullinstrument bewerkstelligen. Man schließt immer nur kurze Zeit, solange die Kompensation noch nicht erreicht ist, um möglichst wenig Strom dem Element zu entnehmen, was besonders bei Einschaltung des Normalelementes gilt. Nebenfolgende Figur 26 (nach Hamburger) gibt schematisch die Anwendung der Meßmethode.

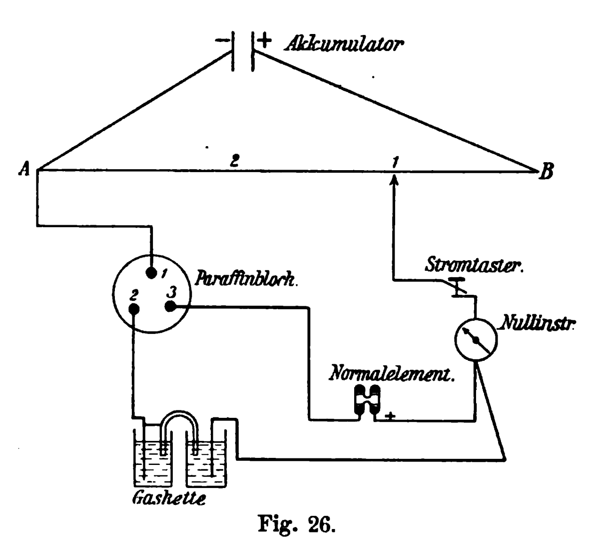


Fig. 26.

2. Das Normalelement. Das zu diesem Zwecke dienende Kadmium-Weston Normalelement erhält man käuflich mit Prüfungsschein der Physik. Technischen Reichsanstalt z. B. von Fr. Köhler Leipzig. Da es einen äußerst geringen Temperaturkoeffizienten besitzt, kann es bei Zimmertemperatur benutzt werden. Für den steten Gebrauch bedient man sich aber nicht dieses kostbaren Normalelementes, sondern eines selbst hergestellten, welches

nur von Zeit zu Zeit mit dem beglaubigten Normalelement verglichen wird. Nach Ostwald ist die Herstellung des Kadmiumnormalelementes (hier ist die Hamburgersche Form abgebildet, Fig. 27) folgende:

Man füllt in den einen Schenkel des Gefäßes reines trockenes Quecksilber, in den anderen Kadmiumamalgam. Das Kadmiumamalgam wird durch zusammenschmelzen in

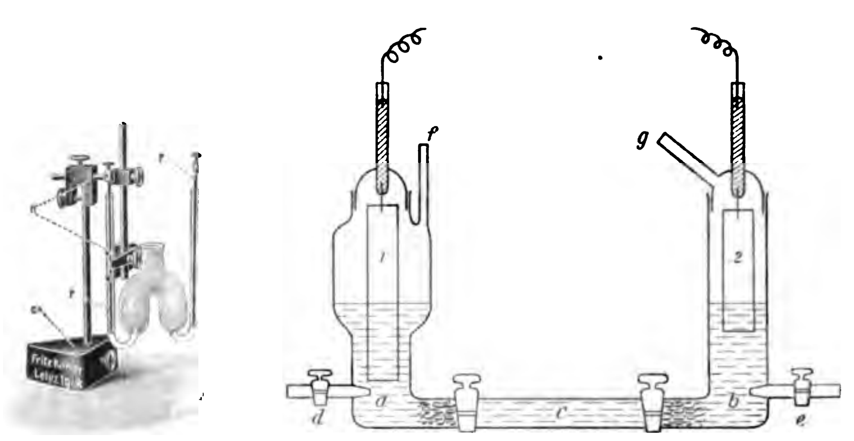


Fig. 27. Fig. 28a.

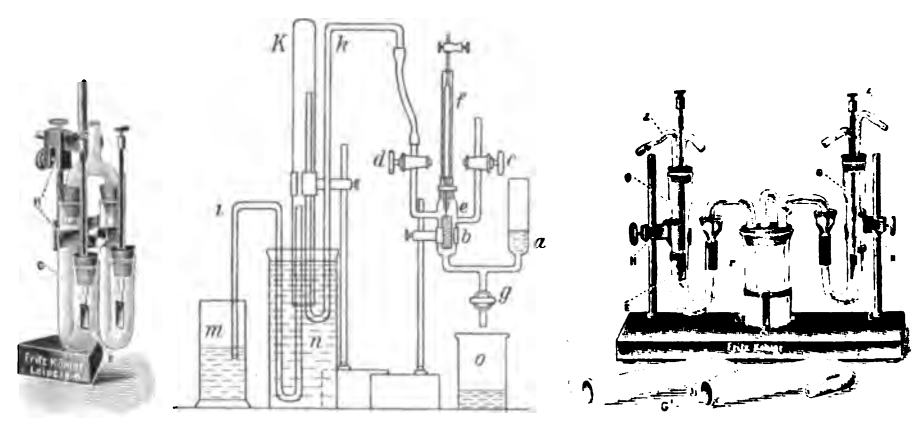


Fig. 28b. Fig. 28c. Fig. 28d.

einem reinen Reagensglas von 1 Gewichtsteil käuflichem, reinem Kadmium und 7—8 Gewichtsteilen reinem Quecksilber hergestellt. Das Amalgam ist bei 100° flüssig, erstarrt aber bei Zimmertemperatur zu einem Brei. Hierauf bereitet man sich eine gesättigte Kadmiumsulfatlösung durch etwa halbstündiges Verreiben von käuflichem reinen Kadmiumsulfat mit Wasser in einer Reibschale. Zur Herstellung der gesättigten Lösung ist etwa 1 Teil Wasser auf 1 Gewichtsteil kristallisierten Salz erforderlich. Man läßt das ungelöste Kadmiumsulfat einigermaßen absitzen und gießt die gesättigte Lösung zu weiterem Gebrauch ab. Von dem Kadmiumsulfatbrei wird eine Portion etwa 5 mm hoch auf das Kadmiumamalgam geschichtet. Eine andere Portion wird mit Merkurosulfat, etwas Quecksilber und der gesättigten Kadmiumsulfatlösung verrieben, worauf man absitzen läßt, die gesättigte Kadmiumsulfatlösung abgießt, durch neue ersetzt, wieder verreibt und auf diese Weise das Merkurosulfat von allen leichter löslichen Verunrei-

nigungen, sowie Merkurosulfat nach Möglichkeit befreit. Mit dem Brei von Merkurosulfat, Quecksilber und Kadmiumsulfat (der sog. Paste) wird das Quecksilber etwa 5 mm hoch bedeckt. Die beiden Schenkel werden hierauf mit etwa erbsengroßen Kadmiumsulfatkristallen und der gesättigten Kadmiumsulfatlösung angefüllt. Luftbläschen entfernt man mit einem Platindrahte. Ehe man das Gefäß mit einem Gummistopfen verschließt, sorgt man dafür, daß oben ein kleines Luftbläschen erhalten bleibt, da andererseits in der Wärme das Gefäß gesprengt werden kann. Der Stopfen wird mit Siegellack vollständig umgossen. Für den Fall, daß man nicht ein derartiges selbst gefertigtes Kadmiumelement besitzt, kann man sich mit einem Normaldaniell aushilfsweise behelfen. (Zusammensetzung: Reines amalgamiertes Zink, $ZnSO_4$ 480 gr. Aqu. dest. 1520 gr., reines Kupfer, $CuSO_4$ 440 gr., Aqu. dest. 1560 g; elektromotorische Kraft 1.15 Volt.)

3. Die Konzentrationsketten: Von den existierenden Formen der in der Physiologie angewandten Konzentrationsketten sind oben diejenigen von Höber, Hamburger, Foà, Asher und Farkas abgebildet.

Sie bestehen aus je zwei Schenkeln, in welche die beiden Platin oder Palladium oder Goldelektroden eintauchen, einem Verbindungsstück und den Zuleitungsklemmen. Sehr einfach und leicht zu handhaben ist das Gaselement von Hamburger (Fig. 28b); es gestattet aber nicht die kontinuierliche Durchleitung von Gas während der ganzen Zeit der Messung, was zumal manches Mal deshalb erforderlich wäre, weil der Verschluß des Gasraumes mit Gummistopfen keine genügende Sicherheit gewährt; immerhin hat Hamburger selbst mit seinem Apparat gute Resultate erzielt. Der Apparat von Höber (Fig. 28a) besteht vollkommen aus Glas ohne Gummistopfenverschluß und besitzt Zu- und Ableitungsöffnung zur kontinuierlichen Gasdurchströmung. Die Platinplatten sind durch ihre Zuführung in herausnehmbare, eingeschliffene Glasstopfen eingeschmolzen. Während dieser Teil leicht zugänglich ist, ist das verbindende Mittelstück weniger leicht zugänglich und daher die Reinhaltung des Apparates, sowie auch die Füllung etwas umständlich. Bei den Gasketten von Hamburger und Höber wird zur Verlangsamung der Diffusion das Verbindungsstück mit Baumwolle gefüllt. Diese Baumwolle ist vorher einer sorgfältigen Reinigung zu unterziehen. Der Apparat von Asher (Fig. 28d) ist für die kontinuierliche Durchleitung von Gas eingerichtet. Das Verbindungsgefäß ist nach dem Prinzip der Spritzflasche konstruiert; durch Druck tritt die Verbindungsflüssigkeit zu den beiden Spitzen aus, welche die Verbindung mit den beiden Gaselektroden herstellen; an das Druckrohr wird ein Schlauch angebracht, der im Moment des Austretens der Flüssigkeit durch eine Schlauchklemme geschlossen wird. An der Kontaktstelle der Spitze des Verbindungsgefäßes mit der Gaselektrode befindet sich eine besondere Einrichtung zur Erschwerung der Diffusion. Das Endstück der Gaselektrode ist mit einem durchbohrten Kautschukstopfen verschlossen; in diesem Kautschukstopfen steckt unten ein Meerschaumkonus, der ausgehöhlt ist. Die

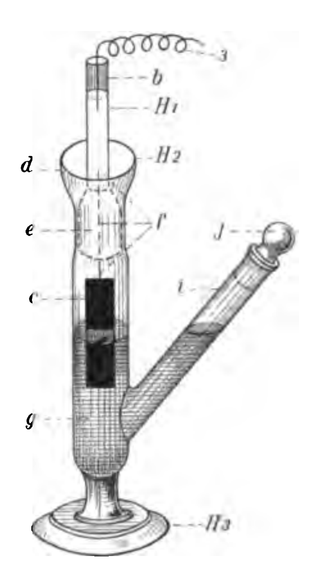


Fig. 28e.

Aushöhlung wird mit derselben Flüssigkeit gefüllt, wie in die Gaselektrode selbst kommt. Das zugespitzte Endrohr des Verbindungsgefäßes wird in den oberen Teil der Bohrung des Stopfens gesteckt; auf diese Weise ist eine kontinuierliche Verbindung hergestellt, das ganze System aber geschlossen, so daß es in den Thermostaten versenkt werden kann. Die einzelnen Teile sind leicht auseinander zu nehmen und zu reinigen. Die Elektrode von Farkas (Fig. 28e) (mit Modifikation von Szili) hat einen Fassungsraum von 1—3 cm^3. Die obere Öffnung des kleinen Zylinders (g) wird durch einen gut eingeschliffenen Stöpsel (e) luftdicht verschlossen; die Dichtung sichert die kreisförmige Rinne (d), welche mit Quecksilber (H_2) gefüllt wird. In den Glasstöpsel (e) ist der Platindraht (f) eingeschmolzen, der die platinierte Platinplatte (c) trägt und mit seinem oberen Ende in die röhrenförmige Fortsetzung (b) des Glasstöpsels reicht, wo Quecksilber (H_1) die Verbindung mit den Leitungsdrähten (a) vermittelt. Der Seitenteil J stellt mit Hilfe eines Kapillarhebers die Verbindung mit der anderen Elektrode her. Zur Ladung wird das Gefäß mit Flüssigkeit überfüllt, ohne Luftblase geschlossen und dann von i aus Gas eingeleitet. Der Seitenast i ist möglichst tief angesetzt, damit nicht zu viel Flüssigkeit von dem Wasserstoff verdrängt wird und Luft nachdringt. Die Gaskette von Foà (Fig. 28c) wird gesondert besprochen.

Die Elektrode der Konzentrationskette und deren Behandlung. Außer zu besonderen Zwecken sind die Elektroden aus Platin. Dieselben werden gut platiniert nach den Vorschriften wie oben bei der Messung der Leitfähigkeit angegeben wurde. Sodann werden dieselben mit Gas beladen. Der bei Messungen von H Konzentrationen benötigte Wasserstoff wird im Kippschen Apparat entwickelt oder aus einer Bombe entnommen und zur Reinigung durch 20% $KMnO_4$ Lösung und gesättigte wässerige Sublimatlösung geleitet. Den zur Messung der OH Konzentration benötigten Sauerstoff entnimmt man einer Bombe, wie z. B. die Firma Elkan in Berlin liefert. Je nach der Form der angewandten Gaselektrode ist die Zuleitungsart des Gases einzurichten. Während der Sättigung mit Gas ist die Gaselektrode mit destilliertem Wasser gefüllt. Bei denjenigen Elektroden, welche nicht einen kontinuierlichen Gasstrom während des ganzen Versuchs einzuleiten gestatten, tut man gut, etwa drei Stunden lang mit Gas zu laden. Es kommt nun darauf an, daß beide Elektroden nach ihrer Ladung und bei Eintauchen in 0.01 NaCl oder HCl Lösung keine Potentialdifferenz zeigen. Dieser Zustand ist, wenn er mit sehr empfindlichen Meßinstrumenten geprüft wird, durchaus nicht leicht zu erzielen; doch dürfen Potentialunterschiede von 2—3 Millivolt deshalb übersehen werden, weil diese innerhalb der Fehlergrenze der Methode bleiben. Die Ungleichheit kann herrühren von einer ungleichen Platinierung oder einer ungleichen Ladung mit Gas. Der letztere Fehler kann dadurch beseitigt werden, daß die stärker geladene Elektrode mit der Flamme gelinde erhitzt wird. Gelingt es auf diese Weise bei mehrfacher Wiederholung nicht den Potentialunterschied weg zu bringen, so ist es geraten, die Platinelektrode sorgfältig zu reinigen, von frischem zu platinieren und mit Gas zu beladen. Für das Laden mit H und O_2 sind durchaus verschiedene Elektroden zu benutzen; eine mit O_2 beladene Elektrode ist unbrauchbar, um mit H geladen zu werden. Außer Platin sind noch andere Elektrodemateriale im Gebrauch, nämlich Palladium, Gold und neuerdings

auch Iridium. Palladium hat vor Platin den Vorzug, daß die mit Palladium schwarz bedeckten Elektroden mehr H absorbieren und die Ladung länger retinieren. Palladiumelektroden bedürfen, wenn sie einmal fertiggestellt sind, keiner Aufladung mit H während des Versuchs, sie sind daher bei solchen Messungen vorzuziehen, wo längere Durchleitung von H die zu untersuchende Flüssigkeit in ihrer Zusammensetzung ändert oder wo etwa lebende Zellen (z. B. Protisten) in der Untersuchungsflüssigkeit sich befinden, welche durch H geschädigt werden. Man palladiniert die Elektroden durch Elektrolyse in einer 3% Lösung von Palladiumnitrat, der ein Tropfen verdünnter Salpetersäure zugesetzt wird. Nach dem Palladinieren sind die Elektroden gründlich in reinem Wasser auszukochen. Goldelektroden werden angewandt, weil die Diffusion von H in das Metall, wodurch die elektromotorische Kraft der betreffenden Elektrode sich ändert, bei Gold am geringsten ist. Die Elektrode von Foà ist eine aus Gold. Die Goldelektrode wird mit Palladium schwarz bedeckt. Die Ladung der Elektroden kann zunächst in besonderen Röhren geschehen; sie kommen aber dann bei der Überführung in das Gaselement mit Luft in Berührung. Deshalb muß nach Füllung des Gaselementes mit der zu untersuchenden Flüssigkeit von neuem jede Elektrode mit Gas beladen werden. Der Zutritt von Luft um die Elektrode herum muß während der ganzen Messung verhütet werden. Nach des Verfassers Erfahrung gibt die kontinuierliche Durchleitung von H die konstanteren Resultate. Die Füllung des Gaselementes während des Versuches soll derart sein, daß nur die halbe Elektrode von Flüssigkeit bedeckt ist, die andere Hälfte aber von dem Gasraum umgeben sei.

Gaskette von Foà (Fig. 28e): Da die Gaskette von Foà in einigen wesentlichen Punkten von den anderen abweicht, sei sie besonders beschrieben. Das Element wird zusammengesetzt aus einer Wasserstoffelektrode, welche in die zu untersuchende Flüssigkeit taucht, und einer Kalomelnormalelektrode. Dasselbe liefert eine experimentell bestimmbare elektromotorische Kraft E, welche sich zusammensetzt aus dem Potential π der Wasserstoffelektrode gegen die zu untersuchende Lösung, dem Kontaktpotential zwischen der zu untersuchenden Flüssigkeit und der Flüssigkeit der Normalelektrode π_1 und dem Potential der Flüssigkeit der Normalelektrode gegenüber der Kalomelnormalelektrode π_2; wenn π_2 bekannt ist und π_1 einen zu vernachlässigenden Wert enthält, kann π berechnet werden. Z. B. ergibt sich bei der Kombination

Wasserstoff-elektrode	Blut	NCl $\frac{n}{8}$	Hg +

$$\underbrace{\qquad}_{\pi}\ \underbrace{\qquad}_{\pi_1}\ \underbrace{\qquad}_{\pi_2}$$

wo $\pi_2 = 0{,}606$ Volt, π_1 zu vernachlässigen ist, $\pi = E - 0{,}606$. Nun ist nach der Formel von Nernst $\pi = 0{,}0575 \log \frac{P}{C_H}$, wo C_H die H Ionenkonzentration und P die Lösungstension des Gases an der Elektrode ist. Der Wert dieser Konstante, der ermittelt wird durch Anwendung einer bekannten HCl Konzentration z. B. $\frac{n}{10}$ HCl, beträgt $\log P = -4.7385$. Mit Hilfe

dieser Zahl und dem experimentell gefundenen Wert von π läßt sich aus obiger Formel die Konzentration der H Ionen ermitteln. Die in der Formel vorkommende Lösungstension P ist abhängig u. a. vom Druck des die Elektrode umgebenden Gases; derselbe muß also konstant erhalten werden. Diesem Umstande trägt die besondere Form von Foàs Gaskette Rechnung.

In das U förmige Gefäß b, g, a, dessen Kapazität bis auf einen ccm gemindert werden kann, taucht bei a die Kalomelnormalelektrode, bei b taucht in die zu untersuchende Flüssigkeit eine mit Palladium schwarz bedeckte Goldelektrode. Der Hahn C dient zur Einleitung des Wasserstoffs, welcher durch h in das im Wasser eingetauchte Reagensglas K gelangt und von da durch i in dem gleichfalls mit Wasser gefüllten Gefäß m entweicht. Wenn das System ganz mit Wasser gefüllt ist, wird der Hahn C geschlossen und das Reagensglas K so eingestellt, daß der Wasserstoff im Apparat unter Atmosphärendruck steht. Der Hahn g dient zur Reinigung des Apparates.

4. Die bei den verschiedenen Körperflüssigkeiten anzuwendenden Zwischenflüssigkeiten. Bei der praktischen Anwendung der Konzentrationsketten in der Physiologie ist die richtige Wahl der Zwischenflüssigkeit eine der wesentlichsten Schwierigkeiten. Handelt es sich um verdünnte wäßrige Lösungen einfacher Substanzen, so ist nach den Untersuchungen von Bjerrum die Einschaltung einer konzentrierten Chlorkaliumlösung ein zuverlässiges Mittel, um das Diffusionspotential auszuschalten. Ein anderes Mittel besteht darin, daß man zu beiden Lösungen ein indifferentes Salz im Überschuß zusetzt, so daß dessen Konzentration in beiden Lösungen gleich ist. Bei physiologischen Messungen ist NaCl der anzuwendende indifferente Elektrolyt. Wenn die zu untersuchende Körperflüssigkeit selbst NaCl enthält, wird nur der Säure von bekannter H Konzentration soviel NaCl zugesetzt, wie in der betreffenden Körperflüssigkeit vorkommt. Eine andere — speziell für den Harn bestimmte Methode — hat Höber eingeführt, indem er zwischen die Harn- und Salzsäure bekannte Konzentration eine Kochsalzlösung einschiebt, welche die gleiche elektrische Leitfähigkeit wie der zu untersuchende Harn hat. Es ist demnach vorher die Leitfähigkeit des Harns zu ermitteln. Die Salzsäurelösung wird in bezug auf die Cl Ionen mit der NaCl Lösung gleich konzentriert gemacht. („isohydrisch"). Das Kontaktpotential zwischen dieser HCl Lösung und der damit isohydrischen NaCl Lösung wird berechnet.

Beispiele von Konzentrationsketten.

$$\left.\begin{array}{l|l|l|l|l|l} O_2 & 1.0\ NaOH & 1.4\ NaCl & 0.125\ NaCl & Blut & O_2 \\ H_2 & 1.0\ HCl & 1.4\ NaCl & 0.125\ NaCl & Blut & H_2 \end{array}\right\}\ \text{Höber}$$

$$H_2 \left| \frac{1}{100}\ HCm\frac{n}{8}\ HCl \right| \frac{n}{8} NaCl \left| Serum \right| H_2 \Big\}\ \text{Fraenkel}$$

$$H_2 \left| HCl\ \frac{n}{100}\ in\ NaCl\ \frac{n}{5} \right| NaCl\ \frac{n}{5} \left| Harn \right| H_2 \Big\}\ \text{Rhorer}$$

$$H_2 \left| \frac{1}{100}\ HCl\ in\ \frac{1}{8}\ NaCl \right| \frac{1}{8} NaCl \left| Mageninhalt \right| H_2 \Big\}\ \text{Tangl}$$

$$H_2\ |\ 0.382\ HCl\ |\ 0.40\ NaCl\ |\ Harn\ |\ H_2\ \}\ \text{Höber}$$

Spez. Leitfähigkeit des Harns bei $t = 25^0 : \lambda = 38{,}73—10^{-3}$

„ „ „ „ von 0.4 NaCl bei $t = 25^0 : \lambda = 42{,}86 \cdot 10^{-3}$

Foà wendet für Blut $\frac{n}{8}$ NaCl Lösung an, für Harn $\frac{n}{5}$ NaCl Lösung, für Magensaft $\frac{n}{10}$ NaCl Lösung; bei der Galle läßt sich das Kontaktpotential nicht ganz vermeiden; Foà interpoliert die Werte, welche erhalten werden bei $\frac{n}{8}$ und $\frac{n}{5}$ NaCl Lösung als Zwischenflüssigkeit.

5. Zeitdauer der Messung. Die elektromotorische Kraft der Konzentrationskette besitzt nicht sofort einen konstanten Wert, sondern erreicht ihn erst allmählich. Meistens ist derselbe in zirka 2 Stunden erreicht und behält den konstanten Wert einige Stunden lang bei. Wenn die Werte nicht eine längere Zeitlang konstant bleiben, so liegt das entweder daran, daß die Ladung der Elektroden mit Gas nicht konstant bleibt, oder daß infolge fehlerhafter Anordnung an den Berührungsflächen eine zu rasche Diffusion stattfindet.

6. Fehlerquellen der Methode. Nach Böttiger lassen sich Messungen an Wasserstoffgaselektroden mit einer Genauigkeit von 0,003 Volt machen. Hieraus resultiert, wie Dreser berechnet hat, bei der Methode, die Konzentration der Wasserstoffionen durch Messung der elektromotorischen Kraft zu bestimmen, eine eventuelle Differenz von rund 20 Prozent des zu ermittelnden Wertes, weshalb die Methode nur zu annähernden Bestimmungen geeignet ist. Eine spezielle Fehlerquelle ist die Veränderung, welche die zu untersuchende Flüssigkeit dadurch erfährt, daß der durchgeleitete Wasserstoff die in der Flüssigkeit enthaltenen Gase entfernt. Beispielsweise ist die Reaktion des Blutes zum Teil von seinem CO_2-Gehalt abhängig; die CO_2 wird aber durch die Wasserstoffdurchleitung entfernt. Höber vermindert diesen Fehler dadurch, daß er die Gaselektroden mit Gemischen von Wasserstoff und CO_2 umspült. Anwendung von Elektroden, welche keine kontinuierliche Durchleitung von H verlangen (solche sind oben beschrieben), sind ein weiteres, bei Untersuchungen des Blutes empfehlenswertes Mittel.

7. Anwendung der Konzentrationsketten zur Untersuchung der Bindung von Säure oder Alkali: Um festzustellen, ob z. B. durch Eiweiß Säure oder Alkali gebunden wird, kann man nach Bugarszky und Liebermann Konzentrationsketten anwenden, in denen zwei Säuren oder Laugen von bekanntem Konzentrationsunterschied eine meßbare elektromotorische Kraft erzeugen. Aus der Abnahme der elektromotorischen Kraft nach Zusatz von Eiweiß auf der einen Seite, kann man die Verminderung der H, beziehentlich OH Konzentration durch Eiweiß ermitteln. Dieselbe Methode läßt sich auch benutzen, um bei anderen Stoffen, sowie auch bei lebenden Zellen und Geweben den Verbrauch oder die Abgabe von H und OH Ionen zu bestimmen. (Für diese Art der Anwendung siehe auch Methoden der Elektrophysiologie). Bei der Benutzung von Konzentrationsketten bei den Lebensäußerungen von Organismen z. B. Protisten ist darauf zu achten, daß die lange Durchleitung von H dieselben nicht schädige. Hier eignen sich besonders Palladiumelektroden.

2. Methode der Indikatoren.

Ein einfaches Verfahren zur quantitativen Messung des Wasserstoffionengehaltes einer Lösung auf kolorimetrischem Wege ist von Friedenthal

angegeben worden. Es beruht auf den Farbenänderungen, welche die als Indikatoren in der Acidimetrie und Alkalimetrie Verwendung findenden Farbstoffe in Lösungen verschiedener H Ionenkonzentrationen aufweisen. Friedenthal (nach ihm Salessky und Salm) hat eine lückenlose Serie von genau bekannten Reaktionsstufen hergestellt und die Färbung solcher Lösungen von bekannten H Ionengehalt nach Zusatz genau definierter Indikatormengen kolorimetrisch verglichen mit der Färbung der zu prüfenden Flüssigkeit. Eine hier folgende von Salm aufgestellte Tabelle enthält eine für Reaktionsmessungen ausreichende Stufenleiter von Indikatoren mit 15 Reaktionsstufen. Die betreffende Wasserstoffionenkonzentration wird durch einen deutlichen Farbenumschlag angezeigt.

Die Indikatorlösungen müssen aus besonders reinen von Dr. Grübler & Co., Leipzig, zu beziehenden Präparaten hergestellt werden (nähere Angaben über die Bereitung bei Glaser,[*] Indikatoren der Acidimetrie und Alkalimetrie. Wiesbaden 1901) und werden in braunen Tropfflaschen aufbewahrt. Die Indikatorlösung soll möglichst $\frac{1}{100}$ Mol Indikator im Liter enthalten. Die Färbungen werden vorgenommen in Gläschen mit planem Boden von gleichem Inhalt (10 cm^3) und das Licht von einer weißen Unterlage (Milchglasplatte) durch die Lösungen geworfen. Von den Indikatorlösungen werden genau 0.1 cm^3 zu den 10 cm^3 hinzugefügt.

Beispiel (Salm): Bei einer beliebigen Flüssigkeit, deren Wasserstoffionengehalt festgestellt werden soll, wird gefunden, daß der Zusatz eines Tropfens Alkanninlösung in 10 cm^3 der Flüssigkeit Rosafärbung hervorruft. Hierdurch weiß man, daß die Konzentration an Wasserstoffionen nur liegen kann zwischen 2—norm $H^{\cdot}$ und 1.10^{-9} norm $H^{\cdot}$. Man versetzt jetzt eine zweite Probe der Lösung mit einem Indikator, der bei 1.10^{-8} norm. $H^{\cdot}$ einen deutlichen Farbenumschlag zeigt, also etwa Neutralrot oder Cyanin; sodann prüft man auf $C_H = 1.10^{-7}$ norm. $H^{\cdot}$ z. B. mit Rosolsäure; ergibt sich Gelbfärbung, so ist das Reaktionsgebiet wieder enger eingegrenzt, nämlich zwischen 2— norm. $H^{\cdot}$ und 1.10^{-6} norm. $H^{\cdot}$. In der geschilderten Weise wird mit dem Zusatz von Indikatoren systematisch fortgefahren, bis die $H^{\cdot}$ Konzentration der Lösung ermittelt ist.

Nach Friedenthal ist es einfacher überall, auch bei alkalischen Medien, nur die $H^{\cdot}$ Konzentration zu berücksichtigen, wie man in der absoluten Temperaturskala nur von Wärme spricht. Die stärkste $H^{\cdot}$ Lösung, die bekannt ist, ist eine 5,873 n Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,1946. Der schwächste $H^{\cdot}$ Gehalt einer wässrigen Lösung findet sich in einer Kalilauge, die 6,744 n ist, vom spezifischen Gewicht 1.286.

3. Methode der Messung der Reaktionsgeschwindigkeit.

Eine Methode, um die Konzentration von H und OH Ionen zu messen, gründet sich darauf, daß die Geschwindigkeit, mit welcher gewisse Reaktionen ablaufen von der Konzentration dieser Ionen abhängt. Es ist dies eine spezielle Anwendung einer viel allgemeineren Methode, indem jeder Reaktionsverlauf, nach dem Gesetz von Guldberg und Waage, abhängt von der räumlichen Konzentration, d. h. von der Anzahl g Molekeln mit denen die Stoffe im Liter vorkommen. Es werden unterschieden monomolekulare

Tabelle von Salm zu Reaktionsmessungen.

Indikator	A 2-n.H·	B 1-n.H·	1 1.10^{-1} n.H·	2 1.10^{-2} n.H·	3 1.10^{-3} n.H·	4 1.10^{-4} n.H·	5 1.10^{-5} n.H·	6 1.10^{-6} n.H·	7 1.10^{-7} n.H·	8 1.10^{-8} n.H·	9 1.10^{-9} n.H·	10 1.10^{-10} n.H·	11 1.10^{-11} n.H·	12 1.10^{-12} n.H·	13 1.10^{-13} n.H·	14 1.10^{-14} n.H.	15 5.10^{-15} n.H·
Mauvein	gelb	grün	grün-blau	blau	violett	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	violett-rot	gelb-rot
Kongorot	blau	—	—	—	blau	violett	schar-lach	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Alizarin-sulfosaures Natrium	gelb-grün	—	—	—	—	—	braun	rot	—	—	—	—	lila	violett	—	—	—
Rosolsäure	gelb	—	—	—	hell-bräun-lich	—	—	hell bräun-lich	rosa	rot	—	—	—	—	—	rot, lang-sam heller	rot, schnell farblos
Phenolphta-lein	farb-los	—	—	—	—	—	—	—	—	farb-los	rosa	rot	—	—	—	rot, schnell farblos	rot ein-fallend gleich darauf farblos
a-Naphtol-benzein	bräun-lich-gelb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	grün	grün-blau	—	—	—	—
Tropäolin 0	gelb	—	—	—	—	—	grün-gelb	—	—	—	—	—	grün-gelb	orange	rot-orange	—	—
Trinitro-benzol	farb-los	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	farblos	orange	rot-orange	fast farblos
Benzopur-purin	blau	blau-violett	violett	—	rot-violett	rosa	gelb, Stich rot	—	—	—	—	—	—	—	gelb Stich rot	rosa	—
Safranin	blau	lila	rosen-rot	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	rosen-rot	violett

Reaktionen, wo die Reaktion an einem einfachen Molekül stattfindet, und die bimolekularen Reaktionen, an zwei sich umsetzenden Molekülen. (Reaktionen an mehr als zwei Molekülen kommen für die praktische Anwendung vorläufig nicht in Betracht). Die Gleichungen der monomolekularen Reaktion lauten $-\frac{dC}{dt} = kC$ (1) woraus durch Integration folgt $k = \frac{1}{t_2 - t_1} \lg \frac{C_1}{C_2}$ (2), wo C_1 die Konzentration des Stoffes zur Zeit t_1, C_2 dieselbe zur Zeit t_2 ist, $\frac{dC}{dt}$ die Reaktionsgeschwindigkeit d. h. die Abnahme, welche die Konzentration in dem Zeitmoment erfährt, und k die Geschwindigkeit oder Reaktionskonstante bedeutet. Letztere kann auch als die Reaktionsgeschwindigkeit bezeichnet werden für den Fall, daß der reagierende Stoff die Konzentration eins besitzt.

Die Gleichungen für bimolekulare Reaktion lauten $-\frac{dC_1}{dC} = k_1\ C_1\ C_2$ (3) $-\frac{dC_2}{dt}\ k_1\ C_1\ C_2$ (4); wenn die beiden reagierenden Stoffe in äquivalenten Mengen vorhanden sind, also $C_1 = C_2$ ist, gilt $-\frac{dC}{dt} = kC^2$ (5) woraus durch Integration folgt $k = \frac{1}{t_2 - t_1}\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1}\right) = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_1\ C_2}$ (6).

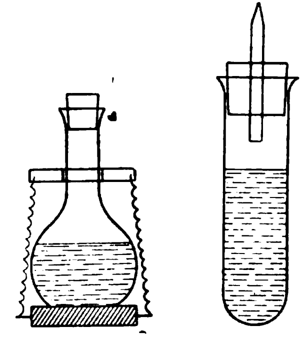
Experimentell wird jeweilig die Geschwindigkeitskonstante dadurch gefunden, daß zu bestimmten Zeiten t_1, t_2 usw. die entsprechende Konzentration der in Reaktion befindlichen Stoffe ermittelt wird. Diese Konzentrationen werden entweder vermittelst geeigneter physikalischer oder analytischer Methoden festgestellt. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist nun nicht allein abhängig von den in obigen Gleichungen genannten Variablen, sondern im besonderen von der Temperatur, welche im Sinne der Beschleunigung wirkt. Daher gilt das experimentell gefundene k nur für eine bestimmte, während der Versuchsdauer streng konstant zu haltende Temperatur. Die obigen Gleichungen werden aus praktischen Gründen folgendermaßen umgestaltet. Es sei A die Konzentration der Zersetzung erleidenden Substanz in Anfang des Versuchs $t = 0$, x_1 sei die zur Zeit t_1 umgewandelte Menge, x_2 diejenige zur Zeit t_2, dann wird Gleichung 5 und 6 zu

$$k = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \lg \frac{A - x_1}{A - x_2} \quad (7) \quad k = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \left(\frac{1}{A - x_2} - \frac{1}{A - x_1}\right) \quad (8)$$

Allgemeine Methodik: Die Gefäße, in denen die Reaktionsversuche angestellt werden, müssen vor dem Versuche nach der oben beschriebenen Methode (Seite 113) ausgedämpft werden. Dieselben kommen in einen Thermostaten, welcher durch Regulator und Rührwerk auf konstanter Temperatur erhalten wird. Die Flaschen müssen bis nahe an ihre Mündung in den Thermostaten versenkt werden und bedürfen daher der Beschwerung durch Bleiplatten oder ähnlicher Vorrichtungen. Geeignete Formen (nach Ostwald) zeigen nachstehende Figuren 29a und b. (Siehe nächste Seite.)

Die Substanzen, deren Aufeinanderwirken geprüft werden sollen, werden im Thermostaten auf die Versuchstemperatur vorgewärmt und dann im Versuchsgefäß vereinigt. Eine genau bestimmte Zeit nach der Vermengung

entnimmt man eine erste Probe, welche zur Bestimmung des Wertes x dient. Die analytischen Prozeduren (z. B. Titrationen oder Bestimmung der Polarisation) dauern eine gewisse Zeit, die in Rechnung zu setzen ist; man nimmt den Mittelwert zwischen dem Anfang und der Beendigung der Analyse als Zeit t_1. Sowie die Messung beginnt, muß die zu messende Reaktion unterbrochen werden. Bei langsam verlaufenden Reaktionen genügt die Herabsetzung der Temperatur. Bei rasch verlaufenden Reaktionen müssen dieselben durch andere Verfahren unterbrochen werden, wobei es auf den speziellen Fall ankommt. Beispielsweise wird man die Wirkung einer Säure durch Zusatz einer abgemessenen Quantität überschüssiger Lauge, welche zurücktitriert wird, aufheben können. Die den Zeiten t_2 entsprechenden Mengen x_2 werden auf analoge Weise bestimmt. Außer den Werten x_1 und x_2 wird man meist noch eine weitere Reihe von Werten x_3, x_4, x_5, usw. zu den Zeiten t_3, t_4, t_5, bestimmen. Die Formel (7) kann in gewissen Fällen praktisch folgendermaßen umgestaltet werden: Es sei t_1 der Nullpunkt des Versuchs, die umgewandelte Menge x_1 also $= 0$, so wird $K = \frac{1}{t_2} l. \frac{A}{A - x_2}$ (9) sein. Hierbei wird man die Reaktion bis zu Ende gehen lassen (vorausgesetzt, daß die Reaktion in einer nicht zu langen Zeit bis zu Ende verläuft), und aus der vollständig umgesetzten Menge erfährt man die am Anfang des Versuchs vorhandene. In jedem Einzelfalle muß bekannt sein, ob die Reaktion eine monomolekulare oder bimolekulare ist; z. B. ist die Inversion von Glykogen durch Säuren eine monomolekulare Reaktion, weil die Säure selbst sich nicht an der Reaktion beteiligt.


Fig. 29a. Fig. 29b.

Physiologische Anwendung: Bestimmung der H und OH Konzentrationen. Bei weitem die wichtigste Anwendung der Messung der Reaktionsgeschwindigkeit in der Physiologie ist diejenige, wo sie dazu dient die Konzentration von wirksamen Substanzen, insbesondere von H und OH Ionen Konzentrationen kennen zu lernen.[1]) Der Konzentration der Wasserstoffionen proportional sind z. B. die Inversion von Rohrzucker durch Säuren zu Dextrose und Fruktose, die Geschwindigkeit der Esterkatalyse, z. B. die Spaltung von Methylazetat in Essigsäure und Methylalkohol, die Überführung von Azetamid in Ammoniumacetat, der Zerfall des Diazoessigesters in Glykolsäureester und Stickstoff; der Konzentration der Hydroxylionen einer Lösung sind proportional die Verseifungsgeschwindigkeit von Ester, die Beschleunigung der Umwandlung von Diazetonalkohol in Azeton, die Umwandlung von Hyoszyamin in Atropin. Bei der physiologischen Anwendung handelt es sich meist darum, nebeneinander die Geschwindigkeitskonstante einer Lösung bekannter H bez. OH Konzentration mit derjenigen der zu untersuchenden Flüssigkeit zu bestimmen, um aus dem Verhältnis der Geschwindigkeitskonstanten den Wirkungswert der untersuchten Flüssigkeit zu finden.

1) Die Anwendung der Methode auf die Fermente ist prinzipiell die gleiche; sie wird an dieser Stelle des Handbuchs nicht erörtert.

Bestimmung der H Ionen mit Hilfe der Zuckerinversion. Durch Säuren, beziehentlich freie H Ionen zerfällt rechtsdrehender Rohrzucker in rechtsdrehende Glukose und linksdrehende Fruktose. Aus der Änderung des optischen Drehungsvermögens kann die Menge des in irgend einer Zeit umgewandelten Zuckers bestimmt werden. Benötigt wird ein Polarisationsapparat, der mit einem temperierbaren Wassermantel umgeben sein muß, da die Drehung von der Temperatur abhängig ist. Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Methode ist, daß die zu untersuchende Flüssigkeit ganz klar ist. Die Gleichung, welche der Berechnung zugrunde gelegt wird, ist Gleichung (9), da die Inversion des Rohrzuckers $C_{12} H_{22} O_{11} + H_2O = C_6 H_{12} O_6 + C_6 H_{12} O_6$ als monomolekulare Reaktion angesehen werden kann, insofern die Wassermenge als eine sehr große als konstant angesehen werden kann. Die ursprüngliche Rohrzuckermenge A wird gefunden aus der Drehung zu Anfang des Versuchs zur Zeit t_0 und aus der Drehung, wenn die Inversion bis zu Ende abgelaufen ist. Rohrzucker ist stark rechtsdrehend, im Gemisch des entstandenen Invertzuckers überwiegt die linksdrehende Fruktose. Der Wert, der bei der ersten Ablesung gefunden wurde, vermehrt um den Wert der bei vollendeter Inversion gefunden wird, ist der ganze Winkel, welcher bei der Zuckerinversion durchlaufen wird und somit der Konzentration A des Zuckers proportional. Die Werte x_2, x_3, usw. werden gefunden durch Subtraktion der bei t_2, t_3, usw., gefundenen Winkelwerte von dem bei t_0 gefundenen Drehungswinkel. Wenn die Beendigung der Inversion sehr lange Zeit dauert, wie z. B. bei organischen Säuren, wird die schließlich zu erwartende Linksdrehung nach einer Formel von Herzfeld berechnet. Dieser zur Folge führt jeder Grad Rechtsdrehung der ursprünglichen Zuckerlösung bei t^0 nach völliger Inversion (0,4266—0.005 t) Grad Linksdrehung herbei.

In den Thermostaten kommt 1. eine Rohrzuckerlösung + eine bestimmte Menge Säure, z. B. Salzsäure genau bekannter Konzentration, 2. die gleiche Rohrzuckerlösung + einer gleichen Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit, in beiden Fällen sei das Flüssigkeitsvolum gleich groß. Diese Methode ist in der Physiologie bis jetzt angewendet worden zur Bestimmung der freien Säure des Magensaftes (F. A. Hoffmann) und zur Bestimmung der Bindung von Salzsäure an Albumosen und Peptone (Cohnheim). Bei der Bestimmung der freien Säure des Magensaftes werden nach Hoffmann noch je ein Gefäß mit reinem Magensaft und eines mit Zuckerlösung, Magensaft und 10% Lösung von Natriumazetat gefüllt. Ersteres dient dazu, um etwaige rechtsdrehende Körper, die im Magensaft vorhanden sind, zu erkennen, das letztere dazu, um das Vorhandensein eines wie Salzsäure, die durch Natriumazetatzusatz neutralisiert wird, auf Rohrzucker wirkenden Fermentes auszuschließen. Zur Erkennung des H Gehaltes der übrigen tierischen Säfte ist die Inversionsmethode nicht anwendbar, weil der H Gehalt zu gering ist. Dies gilt z. B. auch vom Harn. Hingegen ist die Methode anwendbar, wo man die Abhängigkeit eines physiologisch vorkommenden Vorganges vor der H Konzentration ermitteln will, z. B. die Abhängigkeit der fermentativen Eiweißspaltung von Säuregrad.

Bestimmung der freien Säure mit der Methylazetatmethode. (F. A. Hoffmann). Wäßrige Lösungen von Methylazetat zerfallen, sich selbst

überlassen, sehr langsam in Methylalkohol und Essigsäure. Setzt man aber eine andere Säure hinzu, so wird dieser Vorgang beschleunigt. Die Berechnung erfolgt nach Formel (9). Das Verfahren zur Bestimmung der Geschwindigkeitskonstante ist in der allgemeinen Methodik oben beschrieben worden. Zur Titrierung der entstehenden Essigsäure gebraucht man $^1/_{10}$ normale Lösung von Barythydrat. Dieselbe stellt man nach Ostwald folgendermaßen dar: „Man löst in der Siedhitze 20 bis 30 g Barytkristalle in etwa 250 cm³ Wasser und läßt die trübe Flüssigkeit erkalten, wobei man während des Erkaltens die Kochflache mit einem Stopfen schließt, der mit einem Natronkalkrohr versehen ist. Beim Erkalten kristallisiert das überschüssige Hydrat aus und reißt das Karbonat mit, so daß man eine klare, gesättigte Lösung erhält, die bei Zimmertemperatur 2.4 bis 2.5 äquivalent normal ist. Man spült dann die Vorratsflasche und Bürette mit kohlensäurefreier Luft aus, füllt etwa $^3/_4$ Liter kohlensäurefreies Wasser hinein, saugt nochmals kohlensäurefreie Luft durch und hebert oder saugt etwa 200 bis 250 cm³ der gesättigten Lösung in die Flasche. Durch kräftiges wiederholtes Schütteln, mehrfaches Füllen und Entleeren der Bürette wird der Inhalt vermischt. Darauf macht man eine genaue Gehaltsbestimmung des Barytwassers." Der Titer der zugesetzten Säure muß bekannt sein. In ein Fläschchen kommt eine bestimmte Menge Methylazetat und Salzsäure von bekanntem Titer, in ein zweites Fläschchen auf gleiches Volumen wie im ersten dieselbe Menge Methylazetat und die zu untersuchende Flüssigkeit. Die zu untersuchende Flüssigkeit muß vorher auch titriert werden. Man entnimmt nach einer bestimmten Zeit aus jedem Gefäß die gleiche Menge und titriert die aus Methylazetat entstandene Essigsäure. Hierdurch erfährt man die Geschwindigkeitskonstanten K_1 der bekannten Säure von der Konzentration C_1 und die Geschwindigkeitskonstante K_2 der freien Säure unbekannter Konzentration C_2. Hieraus ergibt sich $C_2 = C_1 \frac{K_2}{K_1}$. Der Wert A in Gleichung (9), die Menge Essigsäure, welche überhaupt aus der verwandten Menge Methylazetat entstehen kann, wird gefunden, indem ein Rest der Flüssigkeit mindestens 2 Tage im Thermostat stehen bleibt; A ist dann der konstante Schlußtiter nach Erreichung des Endzustandes. Der Vorzug der Methylazetatmethode ist, daß sie in einfachen Titrierungen besteht und selbst bei trüben Flüssigkeiten anwendbar ist. Sowohl bei der Zuckerinversion wie auch bei der Methylazetatmethode muß darauf Rücksicht genommen werden, ob nicht Stoffe in der Flüssigkeit vorhanden sind, welche die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflussen.

Methoden zur Bestimmung des chemischen Gleichgewichts. Das chemische Gleichgewicht ist der spezielle Fall, daß die beiden Reaktionsgeschwindigkeiten eines chemischen Umsatzes gleich werden. Die chemischen Gleichgewichte spielen in der Physiologie eine große Rolle. Da die Methodik aber eine rein chemische ist, gelangt sie, dem Plane dieses Werkes entsprechend, nicht zur Darstellung. (Beispiele physiologischer Art z. B. die Untersuchung des Gleichgewichtes zwischen Oxyhämoglobin $\rightleftarrows$ Hämoglobin — Sauerstoff (Hüfner) und zwischen Metallalbuminaten $\rightleftarrows$ Eiweißkörpern und Metallen (Galeotti).

Untersuchung des Salzsäure-Bindungsvermögen der Albumosen und Peptone nach dem Inversionsverfahren (Cohnheim).

Cohnheim hat die oben beschriebene Hoffmannsche Methode zur Erkennung der Magensalzsäure mit Hilfe der Zuckerinversion ausgearbeitet zur Ermittlung des Salzsäurebindungsvermögens von Albumosen und Peptonen. Folgende Berechnung liegt dieser Methode zugrunde. Stellt man zwei Versuche mit gleicher Zuckermenge und gleicher Zeitdauer an, den einen mit bekannter Salzsäuremenge d, den anderen mit unbekannter z, so gilt $\frac{C}{C'} = \frac{\log A - \log (A - x)}{\log A - \log (A - x')}$. (A und x haben die oben angegebene Bedeutung, C ist eine von der Natur und Menge der Säure abhängige Konstante.)

Da die wirkende Säure in beiden Fällen Salzsäure ist, so hängt die in C ausgedrückte Wirkung nur von der Menge Salzsäure ab und es berechnet sich $z = \frac{C' d}{C}$

Es ist nun zu einer Albumoselösung von bekanntem Gehalt (N) Salzsäure von bekanntem Gehalt (M) im Überschusse zuzusetzen und dann vermittels der oben beschriebenen Hoffmannschen Methode, mit Hilfe eines Polarisationsapparates, die freie, nicht gebundene Salzsäure (z) zu bestimmen. Dann ist die Differenz zwischen der ursprünglich vorhandenen und der als frei gefundenen Salzsäure diejenige Salzsäuremenge, die von der Albumose gebunden wurde. Aus der Gleichung $\frac{N}{M - z} = \frac{100}{x}$ berechnet sich x als die Menge Salzsäure, die von der Albumose gebunden werden kann, ausgedrückt in Prozenten ihres Gewichtes.

Teil VI. Anwendung der Diffusion, Osmose und Quellung.

1. Hydrodiffusion. Bestimmung des Diffusionskoeffizienten.

Zwischen wäßrigen Lösungen von ungleicher Konzentration findet ein Ausgleich statt infolge des osmotischen Druckes, bis dieser in der gesamten Flüssigkeit gleich geworden ist. Die Geschwindigkeit, mit welcher dieser Austausch stattfindet, hängt ab von dem Unterschiede des osmotischen Druckes und von dem Diffusionskoeffizienten, einer Konstanten. Der Diffusionskoeffizient ist diejenige Menge Substanz in grm, welche bei stationärem Zustande und bei der Temperatur t in einem Tage durch 1 qcm fließen würde, wenn in derselben Richtung die Konzentration sich auf 1 cm um eins ändert. Bei manchen physiologischen Problemen spielt die Diffusionsgeschwindigkeit eine Rolle. Um bei Substanzen, deren Diffusionskoeffizient noch nicht bekannt ist (sehr zahlreiche Angaben in Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen), denselben zu bestimmen, bedient man sich der Methode von Scheffer.

Eine Flasche E (Fig. 30) von etwa 90 cm^3 Inhalt ist am unteren Ende zylindrisch (4 cm breit, 6,5 cm hoch) und wird mittels eines eingeschliffenen Stöpsels B geschlossen. Der Hals der Flasche hat etwa ein Lumen von 1,5 cm. Durch den Stopfen geht ein enges Rohr (11 cm Länge, 0,5 mm Lumen), welches einen Hahn F und die Kugel D trägt. Letztere faßt zwischen den Marken S_1 und S_2 etwa 16 cm^3. Das Rohr endet dicht am Boden der Flasche. An dem Stopfen B ist ein schwach umgebogenes Rohr C ange-

schmolzen. Soll der Diffusionskoeffizient eines Stoffes bestimmt werden, so gibt man Wasser in die Flasche (das dreifache Volum der Pipette D) und bringt die Pipette mit der Lösung des betreffenden Stoffes gefüllt an ihre Stelle. Der ganze Apparat wird nun in einen Raum gebracht, dessen Temperatur möglichst konstant bleibt. Die Temperatur muß möglichst konstant sein, weil erstens der Diffusionskoeffizient pro Grad Temperatursteigerung sich um 2% erhöht und weil zweitens durch örtliche Temperaturunterschiede Konvektionsströme entstehen, welche den Diffusionsvorgang beschleunigen. Im gleichen Sinne wirken etwaige Erschütterungen des Apparates. Ist die Temperatur konstant geworden, so öffnet man den Hahn F und läßt sehr langsam zwecks Vermeidung einer Vermischung der Lösung mit dem Wasser, welches sich in E befindet, die Lösung in die Flasche ausfließen. Ist die Lösung bis zur Marke S_2 ausgeflossen, so schließt man den Hahn. Soll nun der Versuch unterbrochen werden, zwecks Bestimmung der diffundierten Menge der Substanz, so füllt man die Pipette wiederum mit der untersuchten Lösung und läßt diese durch Öffnen des Hahnes so lange in die Flasche ausströmen bis die Flüssigkeit, welche sich in E befindet, das Rohr C erreicht hat. Die Pipette wird aufs neue gefüllt und in E entleert, während man die bei C auslaufende Flüssigkeit in einem Kölbchen auffängt und zur Analyse beiseite stellt. Man fängt auf diese Weise vier gesonderte Teile auf, durch deren Analyse man die Mengen der gelösten Substanz, welche in die verschiedenen Schichten nach bestimmter Zeit diffundiert waren, erfährt.

Fig. 30.

Um den Diffusionskoeffizienten zu bestimmen, wird die Formel zugrunde gelegt, daß der Stoffgehalt einer jeden Schicht gleich ist $\frac{h}{2\sqrt{Kt}}$, in welcher h die Höhe einer Schicht, K den Diffusionskoeffizienten der zum Versuch verwendeten Lösung, t die Zeit vom Beginn des Versuches an gerechnet bedeutet. Aus dem gefundenen Stoffgehalt jeder Schicht, aus h und t läßt sich demnach K berechnen. Die genauere Ermittlung des Diffusionskoeffizienten ist ziemlich umständlich; es wird für die Theorie der Berechnung auf die Arbeit von Stefan verwiesen. [J. Stefan, Über die Diffusion der Flüssigkeiten, Sitzungsberichte d. kaiserl. Akademie der Wissenschaften, Bd. 79, II. 1879, p. 161]. Die Höhe h wird bestimmt, indem man mittelst eines Kathetometers die Niveauveränderung von Quecksilber in der Flasche bestimmt, welches aus der Pipette entsprechend dem zwischen den Teilstrichen der Pipette enthaltenen Volum in die Flasche eingeführt wird.

2. Osmose.

Hamburgers Apparat zur Untersuchung der Osmose.

Die Anwendung der Osmose, d. h. der Diffusion durch Membranen, welche zwei Flüssigkeiten voneinander trennen, ist schon zur Sprache gekommen bei den vorbereitenden Operationen und bei den Methoden zur Bestimmung des osmotischen Druckes. Die Osmose selbst wird wegen ihrer Bedeutung in der Physiologie Gegenstand der Untersuchung, indem man ihre Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren untersucht. Ein Apparat der die Abhängigkeit der Osmose von der Natur und der Zusammensetzung der Membran, vom hydrostatischen Druck und von der Flüssigkeitsströmung zu untersuchen gestattet, ist von Hamburger konstruiert worden, der nach den Angaben des Autors hier beschrieben wird.

Das wesentliche des Apparates ist (Fig. 31) die Membran. Diese kann angefertigt werden aus Lösungen von Gelatine, von Gelatine und Agar-Agar und von Kollodium, und wird in

ein Rohr von Metallgase eingelagert, indem man das Rohr in der betreffenden Flüssigkeit dreht. Nach Entfernung aus der Flüssigkeit wird das Rohr noch eine Zeitlang gedreht. Etwaige Lücken in den Metallmaschen füllt man nachträglich vermittelst einer Pipette

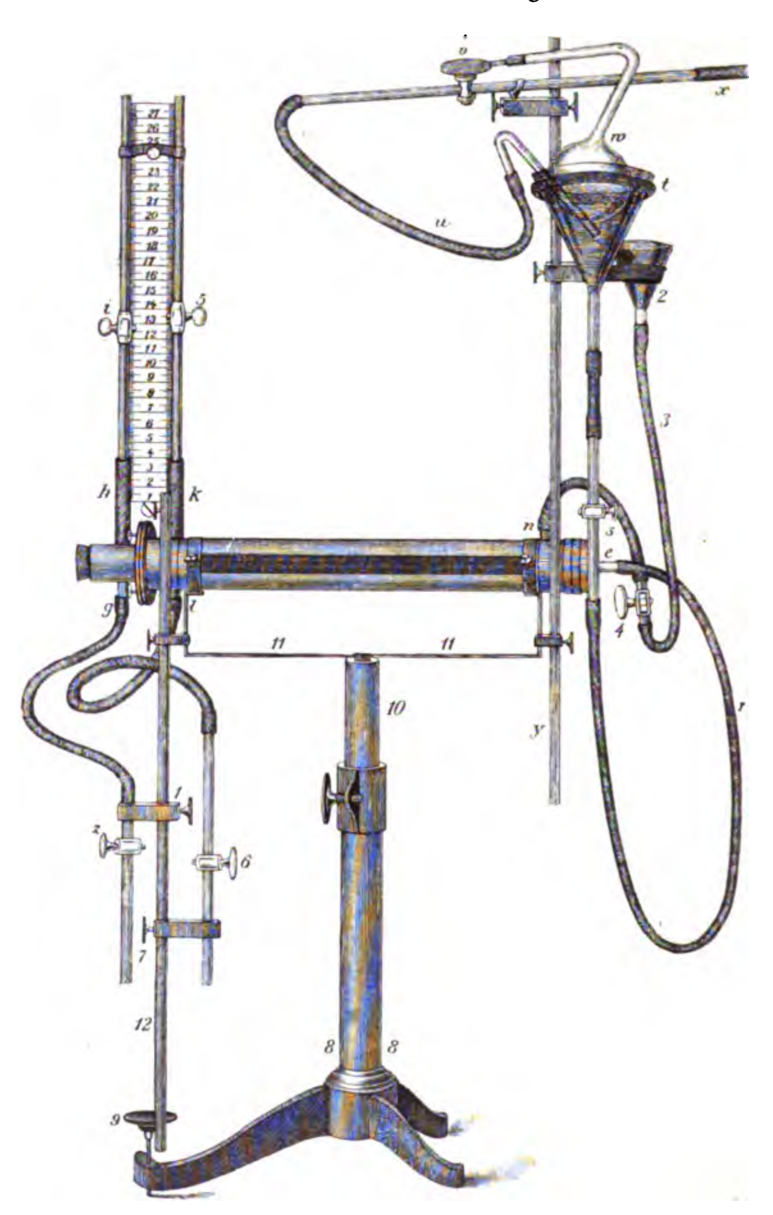


Fig. 31 a.

aus. Das Rohr besteht aus gewalzter Nickelgaze, deren Maschen eine Länge und eine Breite von 0,8 mm besitzen. Das Rohr besitzt an beiden Enden Kupferstücke zur Verbindung mit anderen Teilen des Apparates. Am Ende b (siehe Fig 31 b) wird das Rohr

mit einem Gummipfropfen d versehen, in welchen ein Glasrohr e paßt. Das Ende c wird an ein hohles Metallstück geschraubt, das mit einem Gummipfropfen verschlossen ist. Unten und oben treten aus dem Metallstück zwei Röhren g und h, welche mit dem Innern des Gazerohres kommunizieren. Die Röhre g ist durch einen Gummischlauch mit einem Glasrohr mit Hahn verbunden. Das so armierte Rohr wird in ein weiteres

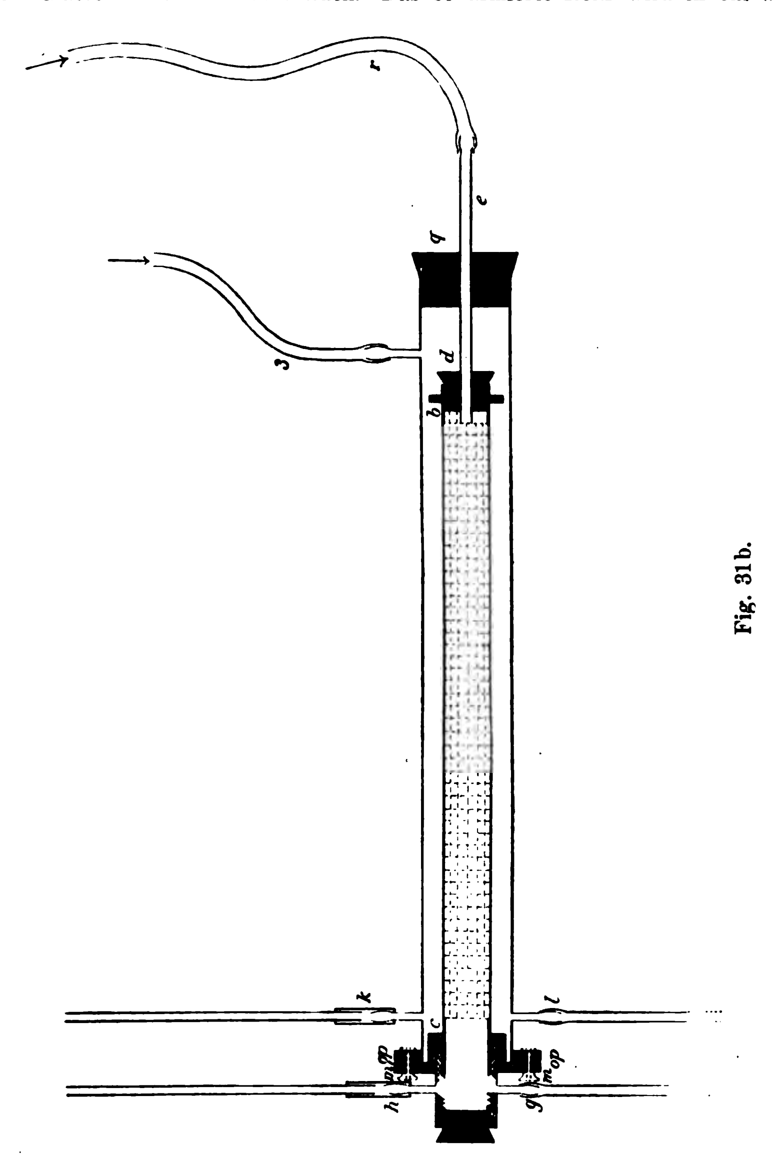


Fig. 31 b.

Glasrohr eingesetzt, wie Figur 31 b zeigt. Am linken Ende desselben befindet sich ein Kupferstück mit zwei Metallröhrchen k und e, am rechten Ende ragt, gleichfalls in einem Metallstück, ein Metallröhrchen p hervor. Das Gazerohr wird in der Weise, wie die Figur es zeigt, in das weitere Rohr eingesetzt und mit Hilfe von Schraubenmutter und Schrauben befestigt. Das rechte Ende der Außenröhre ist durch einen durchbohrten

Gummistopfen verschlossen. Durch die Bohrung geht eine in das Innenrohr führende Glasröhre, welche durch einen Schlauch mit einem großen Trichter in Verbindung steht. Durch diese Vorrichtung wird die Innenröhre gefüllt. Der Trichter kann durch einen Hahn abgeschlossen werden. Der Trichter t empfängt Flüssigkeit aus dem Röhrchen u und dieses wieder aus v; v ist ein Glashahn, welcher durch eine auf der Flüssigkeit im Trichter schwimmende gläserne Hohlkugel w reguliert wird. Auf diese Weise wird der Flüssigkeitsstrom aus einem mit u verbundenen Reservoir geregelt und die Flüssigkeit im Trichter auf konstantem Niveau gehalten. Die Druckhöhe der in das homogene Rohr strömenden Flüssigkeit kann nach Willkür variiert werden. Es kann sowohl der Ring, in welchem der Trichter t ruht und auch der Hahn mit Hohlkugel am Kupferstab entlang bewegt werden, und man kann auch den Kupferstab selbst verstellen. Wenn nach der Füllung eine Strömung gewünscht wird, so öffnet man den Hahn z. Je nach der Stellung dieses in der Höhe verstellbaren Hahnes ist der hydrostatische Druck auf der Membran ein verschiedener. Die Füllungsart des äußeren Mantelrohres ist aus der Figur leicht ersichtlich. Aus dem Rohr K kann man die Luft aus dem Mantelrohr entweichen lassen. Die mit dem Innen- und Außenrohr kommunizierenden Röhren k und K sind an einer Skala angebracht, an welcher man den Druck in beiden Röhren ablesen kann. Bei der Füllung ist darauf zu achten, daß die Membran keinen Riß bekommt, was man daran erkennt, daß die Flüssigkeit rasch im Rohre h sinkt. Eine anfängliche geringe Senkung ist auf Imbibition der Membran zurückzuführen. Das Außenrohr kann auch kontinuierlich durchströmt werden.

Bestimmung der Anfangsgröße der Osmose. (Lazarus Barlow).

Alle Bestimmungen des osmotischen Druckes, welche oben beschrieben wurden, sind Bestimmungen eines Endzustandes. Nach Lazarus Barlow spielt aber unter physiologischen Bedingungen weniger der Endzustand als vielmehr die Anfangsgröße der Osmose eine Rolle. Um diese Anfangsgeschwindigkeit zu bestimmen, hat Lazarus Barlow einen Apparat konstruiert, der im wesentlichen aus einer durch eine Membran (anwendbar sind verschiedene Arten von Membranen, und je nach der Membran variiert auch die Anfangsgröße der Osmose bei den einzelnen Substanzen) verschlossenen Röhre besteht. Die Geschwindigkeit, mit welcher in diese Röhre durch Osmose Wasser eindringt, läßt sich an einer daran angebrachten Skala ablesen. Nach Lazarus Barlow sind die Details seines Apparates und Verfahren der Benutzung desselben folgende:

Der Osmometer (Fig. 32) besteht aus zwei Teilen, dem Reservoir und dem Trichter, welche beide aus Glas gemacht sind. Das Reservoir kann 100 ccm enthalten, und geht an einem Ende in eine mit einem Glaszapfen versehene Röhre aus. Das andere Ende ist offen und mit einem starken Kupferseitenstück verkittet. Ein kleines Loch (a) befindet sich an dem höchsten Punkt der oberen Oberfläche. Ungefähr in der Mitte des Reservoirs ist ein durchlöchertes dünnes Kupferdiaphragma angebracht, dessen Löcher 4 mm im Durchmesser sind, und wovon soviel als möglich in die Platte gebohrt werden; ein Seitenstück wird auf die Platte selbst zurückgeschlagen, um sie zu verstärken und es zu ermöglichen sie mit dem Reservoir zu verkitten. Sie liegt genau vertikal in dem Reservoir und ihre Oberfläche ist genau eben. Der Trichter ist auch aus Glas und ist mit einem Seitenstück versehen, in welches ein Glaszapfen gesteckt wird. Er kann 11,75 ccm enthalten, wenn er bis zu dem Nullpunkt auf der Skala gefüllt ist. Die Mün-

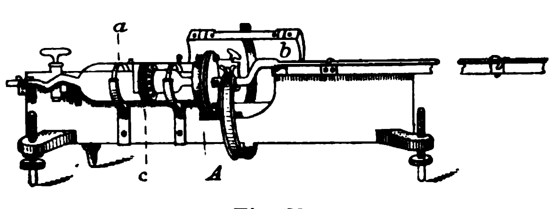


Fig. 32.

dung ist eben geschliffen und darüber ist eine gleichzeitig durchbohrte Kupferplatte angepaßt wie die Scheibe im Reservoir. Diese Platte ist vorn leicht konvex und die Ränder sind nach unten gebogen über die hervorragenden Ränder der Mündung des Trichters und mit dem Glas verkittet. Der 10 cm lange Stiel des Trichters besteht aus Glasröhre mit einem inneren Bohrloch von ungefähr 8 mm, in welche seitlich die vorher erwähnte Röhre mit dem Glaszapfen sich öffnet und um welche, näher an der Mündung des Trichters als das Seitenstück eine starke kupferne Flansche entsprechend der Flansche auf dem Reservoir zementiert ist. Ungefähr 8 cm von der Mündung des Trichters ist dieser Stiel zwei Mal gebogen, so daß er ein Knie (b) bildet, und von diesem Punkt aus geht er aufwärts in einer weiteren Entfernung von 45 cm wie eine Thermometerröhre, mit einem Bohrloch von 1 mm im Durchmesser. Das Knie im Stiel des Trichters ist so hoch, daß, wenn beide Teile des Osmometers in Stellung sind und der Apparat nivelliert wird, die obere Oberfläche des Loches des thermometrischen Teiles des Stieles in derselben horizontalen geraden Linie (ab) wie die obere innere Oberfläche des Reservoirs ist. Die Kupferflanschen sind an ihren entgegengesetzten Seiten ausgehöhlt um einen Kautschukring aufzunehmen, und sind mit drei Löchern versehen, durch welche Schraubenmuttern gehen, um die beiden Flanschen dicht zusammen zu verbinden. Die durchlöcherte Scheibe im Reservoir steht so, daß wenn auf den Gummiring durch Drehen der Schrauben in den Flanschen ein gelinder Druck ausgeübt wird, die leicht konvexe Platte an die Mündung des Trichters gepreßt wird, und die Konvexität zu einer flachen Oberfläche reduziert wird. Wenn daher die Teile des Instruments zusammengeschraubt sind, sind die zwei durchlöcherten Scheiben in vollkommenem Kontakt, sind eben und haben entsprechende Durchlochungen, die einander gegenüber liegen. Der Apparat ruht auf einem Ständer, welcher mit Nivellierschrauben versehen ist, und unter den thermometrischen Teil des Stieles wird eine Millimeterskala in das Holz eingelassen. Das Holz, aus welchem das Gestell und besonders der Teil welcher den Stiel trägt gemacht ist, ist von Wichtigkeit, da es der Feuchtigkeit und daher dem Werfen unterworfen ist. Es ist aus gut abgelagerter Fichte gemacht. Der Apparat ist auch mit einer Nivellierwage versehen, welche auf dem Reservoir und dem mit enger Bohrung versehenen Teil des Stiel des Trichters ruht.

Die Membran wird feucht auf den Trichter aufgebunden; für ihre Dichtung ist besonders bei dem Aufbinden zu sorgen. Zum Reinigen muß das Instrument vollständig auseinander genommen und mehrfach mit 10 % Kalilauge gewaschen werden.

Nachdem die Membran befestigt und der Apparat zusammengestellt worden ist, wird destilliertes Wasser langsam in den Trichter durch das Seitenstück vermittelst einer Spritze gebracht bis es einen bestimmten Punkt in dem Thermometerrohr erreicht, welcher notiert wird. Den Apparat läßt man dann eine Zeitlang in der vertikalen Stellung, und wenn kein sichtbares Durchsickern durch oder um die Membran vorkommt, wird das Reservoir gefüllt und man läßt die Membran sich während 12 Stunden vollsaugen. Der Trichter wird dann geleert und mit einer Lösung deren Anfangsgeschwindigkeit der Osmose man bestimmen will, ausgewaschen, wieder geleert und endgültig mit der Lösung gefüllt bis Trichter und Stiel vollkommen voll sind. Man muß natürlich den Apparat zu diesem Zwecke vertikal halten. Das Osmometer wird dann auf das Gestell gestellt und das Reservoir mit der als Lösungsmittel für das zu untersuchende Kristalloid benutzten Flüssigkeit gefüllt bis nur ein kleiner Raum an der Öffnung der Spitze bleibt. Die Flüssigkeit in dem Stiel des Trichters wird wieder auf den Nullpunkt zurückgebracht und der Versuch beginnt. Die Beobachtungen werden alle fünf Minuten gemacht und der Apparat bleibt unberührt während der ganzen Dauer eines Versuchs. Nach Verlauf von 3 Stunden werden Reservoir und Trichterflüssigkeiten in zugestopfte Flaschen ausgeleert und einzeln auf Gefrierpunkt und Prozentzusammensetzung untersucht. Auf diese Weise ist es möglich die Menge der Substanz, welche dialysiert ist und auch die osmotische Partialspannung des Systems zu bestimmen. Absolute Werte kann man mit dieser Methode nicht erhalten, sondern muß die Geschwindigkeit der Osmose der einzelnen untersuchten Substanzen vergleichen mit einer willkürlich ausgewählten Ausgangsflüssigkeit.

Methode von Bechhold (und Ziegler) zur Untersuchung der Diffusion in Gallerte. Die Methode von Bechhold bezweckt, den

Diffusionsweg in Gallerten unter verschiedenen experimentellen Bedingungen zu untersuchen. Die Diffusion findet in besonders präparierten Reagensröhren statt.

Die benutzte reine Speisegelatine wird unter Zusatz von einigen Körnchen Kampfer zwei Tage in fließendem Wasser dialysiert. Darauf wird die Gelatine geschmolzen, eine Spur Natronlauge bis zu neutraler Reaktion zugesetzt. Hierauf wird mit Wasser aufgefüllt, beziehentlich im Wasserbade eingedampft, bis eine 20% Gelatinelösung hergestellt ist. Dann wird diese eine Stunde auf dem Wasserbade gekocht und der mit der Masse gefüllte Kolben mit steriler Watte verschlossen. Die 20% Gelatine dient als Ausgangsmaterial. In gleicher Weise wird mit Agar verfahren, nur besteht hier das Ausgangsmaterial aus 8‰ Agargallerte. Die auf 5 cm Höhe mit solcher Gallerte gefüllten Reagensgläser werden je in ein Glas mit 40 cm^3 Diffusionsflüssigkeit gestellt. Das im Einzelfalle einzuschlagende Verfahren werde an einem Beispiel veranschaulicht, wobei die Diffusion von NaCl in mit Traubenzucker versetzter Gelatine untersucht werden soll und zwar 20% Gelatine mit einem Gehalt von 1 Mol Traubenzucker, in welche eine Lösung von 1 Mol NaCl diffundieren soll. Es werden in 5 cm^3 Wasser 1,98 gr Traubenzucker aufgelöst und vier Tropfen einer Lösung von 1 Mol $AgNO_3$ zugesetzt. Darauf werden 5 cm^3 40% Gelatinelösung angesetzt, im Wasserbade wird bei 45° gemischt, nachdem im ganzen noch zwei Tropfen von 1 Mol NaCl Lösung beigefügt worden sind. Diese Imprägnierung geschieht, um die nachherige Ausscheidung von Ag_2Cl_2 durch Erzeugung einer kleinen Menge im Voraus zu erleichtern. Nach der Mischung wird gewartet bis alle Luftblasen in die Höhe gestiegen sind. Hierauf entnimmt man aus der homogenen, ganz leicht durch die Imprägnierung getrübten Gallerte mittels Pipette ein Quantum heraus und füllt damit ein gewöhnliches Reagensglas auf 5 cm Höhe auf. Nach dem Erstarren stellt man es in ein Glas mit 40 cm^3 Flüssigkeit, die einem Gehalt von 1 Mol NaCl und 1 Mol Traubenzucker entspricht. Nach einiger Zeit erkennt man an der verstärkten Trübung sehr scharf den Diffusionsweg des NaCl. In gleicher Weise verfährt man bei der Diffusion von Na_2SO_4, nur benutzt man hier zur Imprägnierung 2 Mol $BaCl_2$ vier bis fünf Tropfen, 2 Mol Na_2SO_4 zwei Tropfen.

Bei der Agargallerte ist ein kleiner Kunstgriff nötig, damit die Gallerte an der Glaswand haftet und nicht durch Eindringen von Diffusionsflüssigkeit zwischen Glaswand und Agar die Resultate beeinträchtigt werden. Man stellt sich eine 10% Gelatine mit einem Gehalt von 3% Kaliumbichromat her, füllt die zur Aufnahme der Agargallerte bestimmten Reagensröhren damit an, läßt sofort wieder auslaufen und setzt diese Röhren mehrere Stunden dem Tageslichte aus. Dadurch wird die Chromgelatine wasserunlöslich. Um die Reaktion, beziehentlich die Reaktionsveränderung, in solchen Gelatinediffusionsröhren zu erkennen, wird Rübensaft benutzt. Derselbe wird durch Säuren rot, durch Alkalien gelb gefärbt. Zu seiner Herstellung werden mehrere mittelgroße Rüben geschält, in Scheiben geschnitten, mit 1/2 Liter Wasser übergossen, gekocht und dabei das Wasser bis auf 1/4 Liter eingedunstet und filtriert.

Die Methode von Bechhold kann nach Asher (nicht veröffentlichte Versuche) benutzt werden, um den Einfluß von Organpreßsäften auf die

Diffusion zu untersuchen. Zu diesem Zwecke werden die Gelatineröhrchen, außer der oben beschriebenen Füllung, noch mit einigen Tropfen von Organpreßsäften versehen. Auch mit den aus Organen durch Äther extrahierten Lipoidstoffen lassen sich diese Gelatineröhren imprägnieren.

3. Methoden zur Untersuchung der Quellung.

Man unterscheidet die kapilläre Imbibition, die Imbibition durch Endosmose und die molekuläre Imbibition. Die letztere, welche zu den Adsorptionserscheinungen gehört, ist die echte Quellung. Dieselbe wird nach dem Vorgange von Hofmeister wegen ihrer hohen biologischen Bedeutung öfters Gegenstand der Untersuchung, da sie Aufschluß über wichtige physikalisch-chemische Eigenschaften der Kolloide gewährt.

Methode von Hofmeister.

Man benützt dünne Platten aus Agar-Agar oder Leim. Dieses Material schließt den Einfluß der kapillären und endosmotischen Imbibition aus. Die Gelatine sowie auch das Agar-Agar werden zunächst mit destilliertem Wasser anhaltend gewaschen, wobei sie einen erheblichen Teil der in ihnen stets enthaltenen löslichen Verunreinigungen abgeben. Die in der Kälte gequollenen Massen werden dann in der Wärme gelöst, filtriert, die klare Flüssigkeit zur Herstellung von Platten auf eine horizontal stehende Spiegelglasplatte gegossen, wobei die gewünschte Dicke der Platten durch Ausbreiten mit einem warmen Platindraht oder durch Überschichten einer bereits halberstarrten aber zu dünn geratenen Platte mit einer neuen Schicht der Gallertlösung erzielt wird. Während die Herstellung der Gelatineplatten keine Schwierigkeiten macht, ist doch solches manchmal bei den wegen ihrer Resistenz gegen Fäulnis sehr brauchbaren Agarplatten der Fall. Die gegossenen Platten werden von der Glasplatte vorsichtig abgelöst, erst bei Zimmertemperatur, dann bei 100 getrocknet. Nach dem Trocknen soll ihre Dicke nicht über 0,2 mm betragen. Es werden daraus mit einer scharfen Schere unter Vermeidung der oft etwas verdickten und geschrumpften Ränder ovale oder stumpf rechteckige, ganz glattrandige Stücke geschnitten, deren Gewicht etwa 0,01 bis 0,05 g beträgt. Die Plattenstücke werden im Exsiccator über Schwefelsäure aufbewahrt. Die Plattenstücke werden genau gewogen und dann für eine bestimmte Zeit in Wasser gebracht. Nach Ablauf dieser Zeit werden sie zwischen nicht fasernden Löschblättern abgetrocknet. Das Abtrocknen muß mit einiger Sorgfalt ausgeführt werden; es wird damit beabsichtigt, nur das anhängende, aber nicht das Quellungswasser zu entfernen. Wenn aus der Außenschicht auch Quellungswasser entzogen wird, was bei zu dünnen Platten vorkommt, schleicht sich ein konstanter Fehler ein, der bestimmt werden muß. Das Einlegen der Platten in Wasser und Wiederwägen wird so lange wiederholt, bis keine deutliche Gewichtszunahme mehr erkennbar ist; d. h. bis das Quellungsmaximum erreicht worden ist. Platten von mehreren Millimeter Dicke erreichen dasselbe erst nach Wochen. Zwischen dem Gewicht W Wasser, welches von einem Gewichtsteil trockner Substanz in t Minuten aufgenommen wird, und dem Quellungsmaximum P besteht nach Hofmeister die Beziehung

$$W = P\left(1 - \frac{1}{1 + \frac{c}{d}t}\right)$$

wo c eine aus der Versuchsreihe zu berechnende Konstante, d den Dickendurchmesser der Platte in maximal gequollenem Zustande und zwar in Millimetern gemessen bedeutet. Wenn es sich darum handelt die Beteiligung gelöster Stoffe an Quellungsvorgängen zu untersuchen, werden dickere Leimscheiben verwendet. Sie werden derart hergestellt, daß eine konzentrierte salzarme Leimlösung auf eine genau horizontal gestellte Spiegelglasplatte in eine aus gebogenen Glasstäben gebildete Umrahmung gegossen wird, worauf aus der erstarrten und abgelösten Leimplatte mittelst Locheisens genau gleich große Scheiben herausgeschlagen werden. Dieselben kommen zunächst in eine große feuchte Kammer, woraus sie ohne Zeitverlust nacheinander behufs Wägung und Einbringen in die bereitstehende Lösung entnommen werden. Die in die Lösungen eingebrachten Scheiben werden am nächsten, dritten, auch an späteren Tagen zur gleichen Stunde herausgenommen und nach sorgfältigem, aber sehr vorsichtigem Abtrocknen mit Filterpapier gewogen. Das Quellungsmaximum läßt sich, da wegen der Dicke der Scheiben dasselbe auch in Tagen nicht erreicht wird, nicht bestimmen. Hingegen wird außer der Gewichtszunahme noch die aufgenommene Stoffmenge bestimmt. Die Leimplatten lassen sich auch benutzen um quantitative Versuche über die Aufnahme von Farbstoffen in quellbare Körper zu untersuchen (Hofmeister, Spiro).

Untersuchung der Quellung durch Ermittlung der Schmelz- und Erstarrtemperatur von Salzgelatinen. (Pauli).

Pauli hat zur Untersuchung des Einflusses von Salzen auf quellbare Körper die Methode der Bestimmung des Schmelz- und Erstarrungspunktes angewandt. Hierzu dient eine dem Beckmannschen Apparate ähnliche Vorrichtung. Eine größere Eprouvette, die mit einem in Zehntel Celsiusgrade geteilten Thermometer und einem Rührer versehen ist, taucht in ein Literbecherglas, welches das entsprechend temperierte Wasser samt Rührer und Thermometer enthält. In die Eprouvette werden stets 15 cm^3 der meist 10% Gelatine eingebracht und nun wird die Temperatur, bei welcher das Thermometer eben festgehalten wird, als Erstarrpunkt und der, bei welcher dasselbe leicht aus der Gelatine gezogen werden konnte, als Schmelzpunkt angesehen. Bei einiger Übung gibt diese Methode Resultate, die nur um wenige Zehntel differieren.

Teil VII. Anwendung des Verteilungsprinzipes.

Wenn sich ein Stoff zwischen zwei flüssigen Lösungsmitteln verteilt und er dabei in beiden Lösungsmitteln das gleiche Molekulargewicht besitzt, so besteht ein bestimmtes Verhältnis der räumlichen Konzentrationen des Stoffes in den beiden Lösungsmitteln, welches als Teilungskoeffizient bezeichnet wird. Ist c_1 die Konzentration in einem Lösungsmittel, c_2 diejenige im zweiten, so ist unter der genannten Bedingung der Teilungskoeffizient $\frac{c^1}{c_2}$ eine Kon-

stante. Besitzt aber der Stoff in den beiden Lösungsmitteln verschiedenen Molekularzustand, so hat der Teilungskoeffizient einen anderen Wert, z. B. wenn der betreffende Stoff in einem Lösungsmittel aus Doppelmolekülen besteht, so ist der Teilungskoeffizient $= \frac{c_1}{\sqrt{c_2}}$ (Nernst). Das Verteilungsprinzip besitzt in der Biologie eine große Bedeutung, weil im Organismus sehr oft einem Stoff Gelegenheit geboten ist, zwischen zwei Lösungsmitteln sich zu verteilen (siehe darüber besonders Spiro, Über physikalische und physiologische Selektion. Habilitationsschrift. Straßburg 1897); auch andere den Biologen interessierende Vorgänge können hinsichtlich ihrer Beziehung zum Verteilungsprinzip untersucht werden, z. B. die Narkose, die histologische Färbung u. a. Eine Methode der Bestimmung besteht darin, daß man den zu untersuchenden Stoff so lange in Berührung mit den beiden Flüssigkeiten läßt, bis Gleichgewicht eingetreten ist. Handelt es sich um zwei nicht mischbare Lösungsmittel, so schüttelt man ein Gemenge der beiden Lösungsmittel im Scheidetrichter mit dem betreffenden Stoff, läßt absitzen und analysiert die getrennten Lösungsmittel auf ihren Gehalt an dem Stoff. Zweckmäßigerweise wird man die Teilungskoeffizienten $\frac{c_1}{c_2}$ mit verschiedenen Mengen zugesetzten Stoffes bestimmen. Diese Methode ist aber nur dann anwendbar, wenn hinreichend große Mengen der Lösungsmittel zur Verfügung stehen und die quantitative Analyse des zu untersuchenden gelösten Stoffes eine zuverlässige ist. Von den im tierischen Körper vorkommenden Flüssigkeiten und Zellflüssigkeiten stehen oft nur geringe Mengen zur Verfügung. Dann behilft man sich mit einer Substanz, welche mehr oder weniger ähnliche Eigenschaften mit der betreffenden Körpersubstanz zu haben scheint, z. B. wendet man anstatt der Zelllipoïde Olivenöl an, anstatt Lymphe Wasser.

1. Anwendung des Teilungskoeffizienten bei der Milchsäurebestimmung im Magensaft. (F. A. Hoffmann).

Hoffmann und Vollhardt bestimmten den Teilungskoeffizienten der Milchsäure im Mittel zu 10,4. Schüttelt man also mit Äther aus, titriert den Äther mit Lauge und multipliziert den gefundenen Säurewert mit 10,4, so erhält man die im Wasser vorher vorhandene Äthermenge. Ob es vorteilhafter ist, mit wenig Äther oft hintereinander oder auf einmal mit einer großen Menge Äther zu schütteln, ergibt sich aus folgender Betrachtung:

Sind gleiche Mengen Wasser und Äther vor und nach der Schüttlung vorhanden, was nur annähernd richtig ist, enthält die gesamte wäßrige Lösung im Anfange A Milchsäure, nennt man den Teilungskoeffizienten K, ist die Menge Milchsäure, welche durch einmaliges Schütteln in die einfache Menge Äther übergeht x, so ist $\frac{A-x}{\frac{x}{m}} = K$, woraus sich die in Wasser und Äther vorhandene Milchsäure berechnen läßt.

Nach Schütteln:	in Wasser	in Äther
1 mal	$\frac{AK}{K+m}$	$\frac{Am}{K+m}$

2 mal $\frac{AK^2}{(K+m)^2}$ $\qquad$ $\frac{AmK}{(K+m)^2}$

n mal $\frac{AK^n}{(K+m)^n}$ $\qquad$ $\frac{AmK^{n-1}}{(K+m)^n}$

An der Hand der obigen Formeln wird man je nach der Menge der zu bearbeitenden Flüssigkeit und der erstrebten Genauigkeit die Zahl der Schüttelungen berechnen. Am einfachsten wird man immer das 10,4 fache Volumen der zu untersuchenden Flüssigkeit nehmen, am besten gleich wasserhaltigen Äther, um das Volumen beim Schütteln so wenig wie möglich zu ändern. Es geht dann in den Äther genau die Hälfte der Milchsäure über, welche in der zu untersuchenden Flüssigkeit steckt. Die Methode ist aber nur dann richtig, wenn beim Schütteln einzig als wesentlich in den Äther übergehend Gährungsmilchsäure in Betracht kommt. Die Methode der Milchsäurebestimmung durch Berechnung mit Hilfe des Teilungskoeffizienten hat den Vorzug, daß die im Magensaft vorhandene Salzsäure keinen in Betracht kommenden Fehler verursacht.

2. Overtons physiologische Methode zur Bestimmung des Teilungskoeffizienten der Narkotika.

Zuerst bestimmt man die Konzentration des zu untersuchenden Narkotikums in Wasser, welche lebende Zellen, z. B. junge Kaulquappen von 9—14 mm Länge, Entomostioken, Infusorien usw., grade vollständig narkotisiert. Aus einer Reihe von Versuchen gewinnt man Mittelwerte. Hierauf werden Olivenöl und Wasser in einem bekannten Verhältnis mit einer bestimmten Menge des zu untersuchenden indifferenten Narkotikums geschüttelt. Nach Absetzung wird geprüft, ob die wäßrige Lösung das Objekt narkotisiert. Ist das der Fall, so fügt man zum Gemisch eine abgemessene Quantität Wasser, prüft wieder und wiederholt, bis in der wäßrigen Lösung eine bestehende Narkose etwas zurückgeht. Diese wäßrige Lösung besitzt dann den vorhin gefundenen Mittelwert der Konzentration. Aus dem Verhältnis der Konzentrationen in der wäßrigen Lösung und im Olivenöl berechnet sich der Teilungskoeffizient. Man braucht bei dieser Methode nur sehr geringe Mengen des Narkotikums.

Teil VIII. Bestimmung der inneren Reibung (Viskosität).

Prinzip. Nach dem Gesetz von Poiseuille gilt für das aus einer engen Röhre ausfließende Flüssigkeitsvolumen

$$v = \frac{\pi (p_1 - p_2) r^4 t}{8 \eta l} \quad \text{oder} \quad \eta = \frac{\pi (p_1 - p_2) r^4 t}{8 v l}. \quad (1)$$

In diesem Ausdruck ist l die Länge der Röhre, r der Radius des Querschnittes, η der Reibungskoeffizient. Der letztere wird dahin definiert, daß er die Kraft in Dynen und pro Quadratzentimeter bedeutet, welche zwei Flüssigkeitsschichten aufeinander ausüben, die 1 cm voneinander liegen und eine Differenz der Geschwindigkeit von 1 cm pro Sekunde besitzen. $p_1 - p_2$ ist der Druckunterschied am Anfang und Ende der Röhre. Wenn die

Flüssigkeit unter dem Einfluß ihres eigenen Gewichtes ausfließt, ist der Druckunterschied $p_1 - p_2$ zu ersetzen durch $g\,d\,h$, wo g die Erdbeschleunigung, d die Dichte und h die mittlere Niveaudifferenz ist. In der Praxis, speziell in der physiologischen Praxis, verzichtet man meist auf die Bestimmung des absoluten Reibungskoeffizienten und begnügt sich mit der Ermittlung des relativen, wobei man die Reibung des Wassers bei der Versuchstemperatur $\eta_0 = 1$ setzt; anstatt Wasser kann man auch eine andere Flüssigkeit, z. B. Anilin, als Normalflüssigkeit nehmen. Dann ist

$$\eta = \frac{\eta_0\, s\, t}{s_1\, t_1} \quad (2)$$

wobei η den relativen Reibungskoeffizienten der untersuchten Flüssigkeit, η_0 denjenigen der Normalflüssigkeit, s das spezifische Gewicht der untersuchten, s_1 das spezifische Gewicht der Normalflüssigkeit und t beziehentlich t_1 die Ausflußzeiten der beiden Flüssigkeiten sind.

Anmerkung. Die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes ist angezweifelt worden, doch zeigen eine Reihe neuerer Untersuchungen (es sei auf die während der Korrektur erschienene Arbeit von Brodie, du Bois Reymond und Franz Müller an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen; Engelmanns Arch. 1907, S. 37), daß innerhalb des Bereichs der im tierischen Organismus vorkommenden Bedingungen dasselbe jedenfalls zutreffend ist.

Die Kenntnis der inneren Reibung ist erforderlich zur Beurteilung der Arbeit, welche bei der Verschiebung einer Flüssigkeit geleistet wird; sie kommt also in Betracht in der Lehre vom Kreislaufe und bei den Flüssigkeitaustauschen, welche, normal oder experimentell hervorgerufen, innerhalb der Gewebe sich abspielen.

1. Bestimmung des relativen Reibungkoeffizienten mit dem Viskosimeter von Ostwald.

Die hier abgebildete Reibungsröhre wird in einen durchsichtigen Thermostaten (siehe Katalog der Firma Fr. Köhler, Leipzig) genau vertikal eingesetzt (Fig. 33). Genaue Temperaturregulierung durch Regulator und Rührwerk ist erforderlich. Die zu untersuchende Flüssigkeit wird in einem Gefäße innerhalb des Thermostaten aufbewahrt. Man füllt bei f eine genau gemessene Menge ein, saugt bei a bis die Flüssigkeit bis über die Marke c gestiegen ist und läßt die Flüssigkeit unter ihrem eigenen Druck ausfließen, bis sie durch die Marke d tritt. In gleicher Weise verfährt man mit der zum Vergleich angewandten Normalflüssigkeit. Das spezifische Gewicht beider Flüssigkeiten bestimmt man am besten mit dem Ostwald-Sprengelschen Pyknometer. Zur Zeitbestimmung bedient man sich eines Chronometers in Taschenuhrform mit langem Sekundenzeiger; am bequemsten sind die von einigen Schweizer Firmen gelieferten Chronometer mit sogenanntem springenden Sekundenzeiger (auch $^1/_5$ Sekundenzeiger). Durch Drücken auf den Aufzugsknopf wird der Sekundenzeiger ausgelöst, auf das zweite Drücken festgehalten, der dritte Druck bringt den Zeiger wieder auf Null zurück. Die Berechnung erfolgt nach Formel (2).

Fig. 33.

2. Bestimmung des relativen Reibungskoeffizienten des Blutes nach Beck und Hirsch.

Die Methode von Beck und Hirsch ist prinzipiell die gleiche wie diejenige von Ostwald, sie unterscheidet sich von derselben nur durch die Anwendung eines anderen Viskosimeters und eines besonderen Druckapparates. Der letztere (siehe Figur 34 a) besteht aus einem Handgebläse g, einem Chlorkalziumrohr C, einer Mariotteschen Flasche F mit Strahlungsschutzmantel und einem mit gefärbtem Benzol gefüllten Manometer M. Zunächst wird die Druckvorrichtung von dem Viskosimeter getrennt und an der Trennungsstelle durch eine starke Schraubenklemme geschlossen. Hierauf wird vermittelst des Handgebläses ein Druck von 452 mm Benzol hergestellt, woraut der Glashahn zwischen Chlorkalziumrohr und Mariottesche Flasche abgeschlossen wird. Inzwischen befindet sich das Viskosimeter (Figur 34 b) in einem Luftbad von 38°. Nach Abnahme des Verschlußstückes V kommt das zu untersuchende Blut in die Ampulle N. Hierauf wird das Verschlußstück V aufgesetzt und das Viskosimeter in dem Gestell innerhalb des Thermostaten senkrecht aufgehängt. Man saugt nun das Blut von Z her bis etwas oberhalb der Marke X des Viskosimeters, verbindet rasch mit dem Druckapparat und öffnet die Schraubenklemme. Unter dem Druck von 452 mm Benzol wird das Blut dann nach abwärts gepreßt. Im Moment, wo die Marke X passiert wird, setzt man den Chronometer in Gang

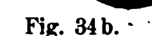


Fig. 34 b.

Fig. 34 a.

und arretiert ihn beim Passieren der Marke X_1. Hierauf wird die Verbindung nach dem Druckapparat wieder abgeklemmt und die Messung wiederholt. Früher war das Arbeiten mit dem Apparat von Beck und Hirsch wegen der Blutgerinnung schwieriger; seitdem im Hirudin ein Mittel vorliegt, ohne Veränderung der Viskosität die Gerinnung des Blutes aufzuheben, ist die Bestimmung wesentlich erleichtert. Zur Ermittlung der relativen η-Werte bestimmt man an einem Ostwaldschen Viskosimeter (siehe oben) die Durchflußzeit von destilliertem Wasser bei 38°. Das Beck-Hirschsche Viskosimeter eignet sich hierzu nicht, weil es für Wasser zu kurze Ausflußzeit besitzt. In dem gleichen Ostwaldschen Viskosimeter bestimmt man die Ausflußzeit für Anilin nun bei 38°. Auf diese Weise findet man den relativen η-Wert des Anilins bei 38°. Anilin wurde von Beck und Hirsch gewählt, weil es eine ähnliche Viskosität wie Blut hat, so daß man mit dem Beck-Hirschschen Apparat stets die Durchflußzeit des Blutes mit derjenigen von Anilin vergleichen kann, dessen relativer η-Wert ein für allemal bestimmt wird. Der relative η-Wert von Anilin beträgt nach Beck und Hirsch 3,75, nach Bence 3,84, nach Kottmann 3,73, bei einem spezifischen Gewicht von 1021. Das spezifische Gewicht des Hirudinbluts wird man mit einem der früher beschriebenen Pyknometer bestimmen. Die Viskosimeterröhren werden durch Ausspülen mit verdünnter Natronlauge oder Sodalösung und Nachspülen mit destilliertem Wasser gereinigt und hierauf in einem Trockenschrank getrocknet. Blut mit Hirudinzusatz kann zentrifugiert werden, wodurch man ein zu Viskositätsbestimmungen sehr geeignetes, praktisch unverändertes Blutplasma gewinnt (Heubner, Kottmann). Die Methoden zur Entnahme von Blut sind früher beschrieben worden.

3. Apparat von Heubner zur Bestimmung der Viskosität des Blutes.

Das Wesentliche am Apparat von Heubner ist aus der Figur 35 ersichtlich. Die Benutzung von Hirudin gestattet für Blut oder von Plasma, welches bei 0° gewonnen wird, von der Beck-Hirschschen Druckmethode abzusehen und ein dem Ostwaldschen Viskosimeter ähnliches Rohr anzuwenden. Insbesondere dient der Apparat von Heubner dazu, die Viskosität des unveränderten Blutplasmas bei 0° zu bestimmen, wodurch etwaige Schlüsse an Sicherheit gewinnen.

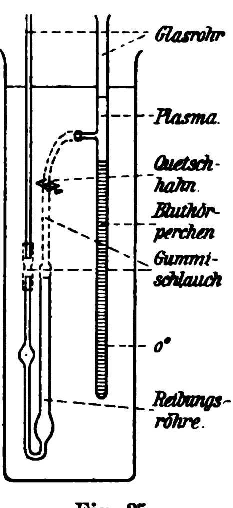


Fig. 35.

Anmerkung. Auf Heubners wichtige Einwände gegen die Allgemeingültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes sei ausdrücklich hingewiesen. (Heubner, Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 53. 1905 S. 280).

4. Apparat von du Pré Denning und John H. Watson zur Bestimmung der Viskosität des Blutes.

Prinzipiell ist die Apparatur von Pré Denning und Watson die gleiche wie diejenige der anderen hier beschriebenen Methoden. Das besondere daran sind die Abänderungen, welche bezwecken, eine Gefahr, welche den

beschriebenen Viskositätsbestimmungen anhaftet, zu beseitigen. Es besteht nämlich die Gefahr der raschen Sedimentierung der Blutkörperchen.[1] Um diese zu vermeiden ist das Lumen der Kapillare des Viskosimeters (Fig. 36a) an der U-förmigen Biegung erweitert, sodann ist das Rohr oberhalb der kleinen Glaskugel $m^{II}m^{III}$ mit Schlangenwindungen versehen, schließlich wird kurz vor dem Beginn der Messung zur gehörigen Vermischung des Blutes ein schwacher Luftstrom durchgesaugt. Hierzu dient die in Figur 36b ab-

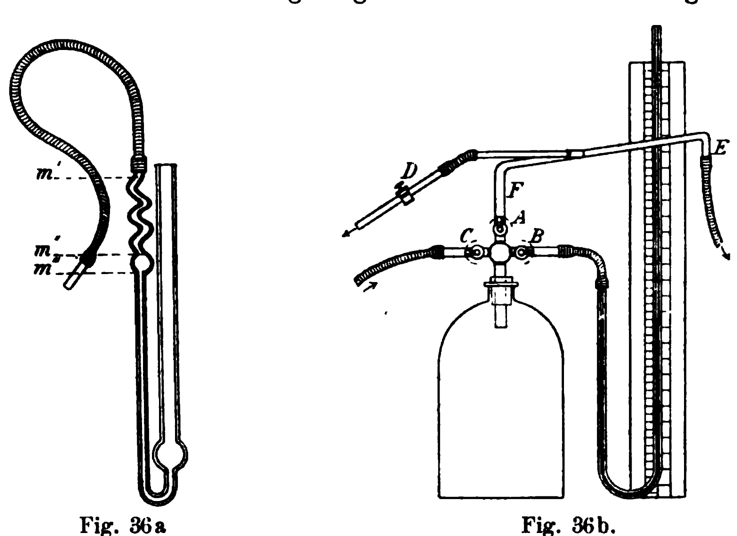


Fig. 36a Fig. 36b.

gebildete Vorrichtung (Rohr D), die gleichzeitig als Druckapparat benutzt werden kann, indem in der großen Flasche vermittelst einer Druckpumpe Druck erzeugt wird, der nach Abschluß von Hahn C und D auf das Viskosimeter und das Manometer wirkt. Das Blut wird mit einer kalibrierten Pipette in die weitere Glaskugel des Viskosimeters aufgefüllt, Luft durchgesaugt, dann das Blut bis zur Marke m^{I} aufgesogen, sodann das Passieren der Blutsäule zwischen den Marken m^{II} und m^{III} mit Hilfe des Chronometers bestimmt.

5. Hürthles Methode zur Bestimmung der Viskosität des lebenden Blutes.

Die Hürthlesche Methode bezweckt die Viskosität des lebenden Blutes ohne jeden Zusatz zu bestimmen. Die einzelne Messung muß daher innerhalb einer halben Minute ausgeführt werden. Deshalb läßt man das Blut unmittelbar aus der Arterie des lebenden Tieres durch eine Kapillarröhre strömen und benützt als treibende Kraft den aktuellen Blutdruck. Nach Hürthle (auf dessen Arbeit verwiesen wird) sind die Details der Methode folgende.

Die Ausflußzeit, d. h. diejenige Zeit, während welcher das zur Volumbestimmung gelangende Blut durch die Glaskapillare fließt, wird mit Hilfe des Kymographions bestimmt, auf welchem einerseits die Zeit in $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{10}$ Sekunde, andererseits Beginn und Ende des Sammelns von Blut selbsttätig registriert wird.

1) Auch bei allen anderen Flüssigkeiten, welche korpuskuläre Elemente enthalten, ist Vorkehrung gegen die Sedimentierung zu treffen.

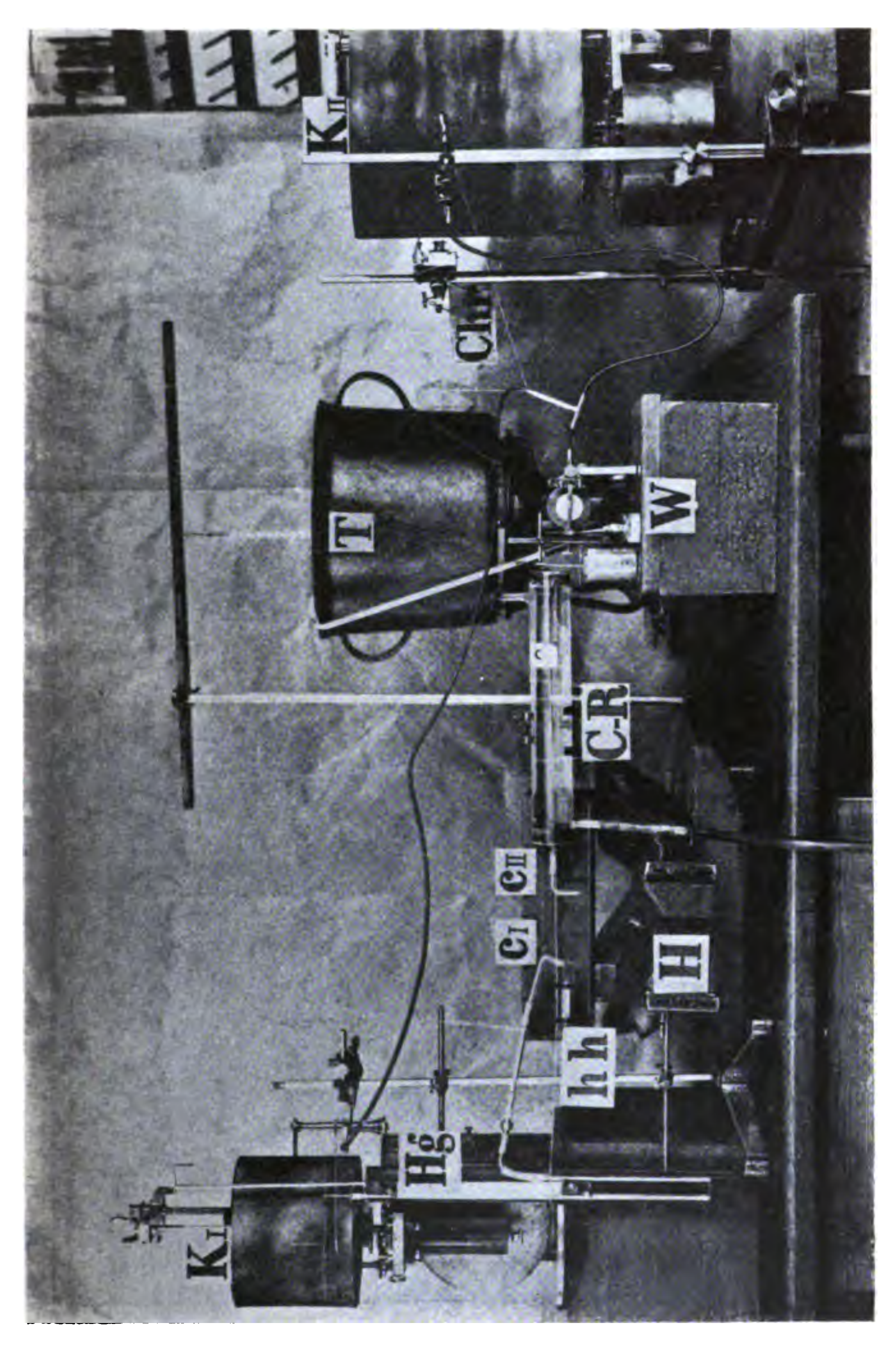


Fig. 37a.

Zum Auffangen des Blutes, sowie zur selbsttätigen Registrierung von Beginn und Ende des Sammelns dient die in Figur 37b und c abgebildete Wippe. Unter dem Ende der Kapillare stehen zwei Gläschen von 5—6 cm³ Höhe nebeneinander, ein Wägegläschen

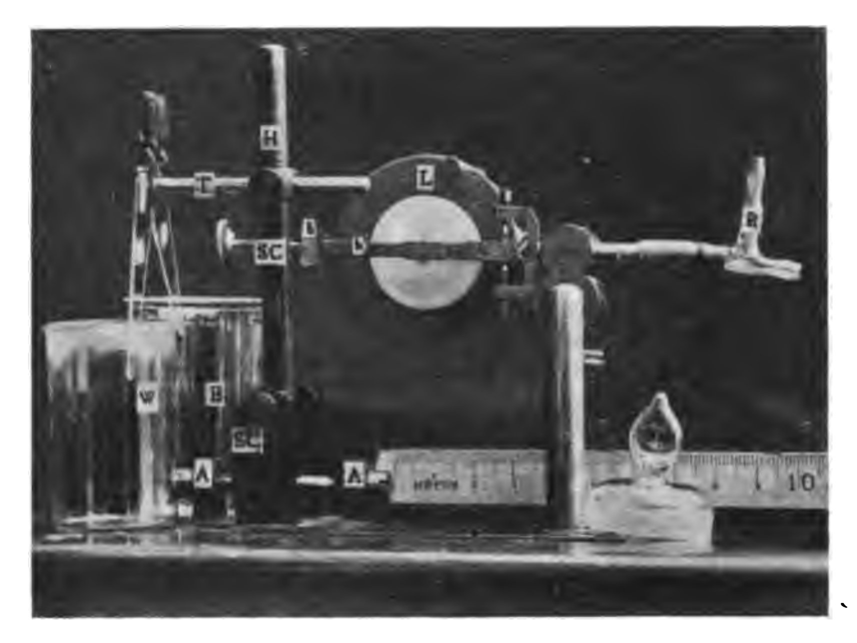


Fig. 37b.



Fig. 37c.

W mit abgenommenem Verschlußdeckel und ein gewöhnliches Bechergläschen B. Aus der Kapillare tropft nun das Blut nicht unmittelbar in eines der Gläschen ab, sondern

fließt an einem der Glasstreifen G oder G entlang, welche senkrecht zur Mündung der Kapillare und $^1/_2$ bis 1 mm von ihr entfernt angebracht sind, und zwar in solcher Höhe, daß die Verlängerung der Kapillare die Glasstreifen im oberen Drittel trifft. Um nun das Blut nach Belieben in das Gläschen B oder W zu leiten, sind die Glasstreifen in eine zur Röhrenachse senkrechten Ebene verschieblich; sie werden durch kleine Klammern K und K an dem Träger T festgehalten, der selbst wieder in dem Hebel H festgeschraubt wird. Der letztere kann durch Fingerdruck um die der Glaskapillare parallele Achse AA umgelegt werden. (SC in Fig. 37b ist eine Hemmung). Je nach der Stellung des Hebels fließt das Blut entweder in das Bechergläschen B oder in das Gläschen W. Um zu verhindern, daß bei der Umlegung des Hebels eine Flüssigkeitsbrücke zwischen den beiden Streifen entsteht, sind diese an der einander zugewandten Kante mit einer Paraffinhaut überzogen. Um die Ausflußzeit, d. h. Zeit, während welcher Blut in das Wägegläschen W fließt zu messen, wird das Umlegen der Wippe durch Lufttransport vermittelst der in Figur 37b abgebildeten Luftkapsel auf ein sehr rasch gehendes Kymographion übertragen, gleichzeitig vermittelst eines T Rohres auf das langsamer gehende Kymographion, welches den Blutdruck registriert. Bei Ausflußzeit kann bis auf $^1/_{100}$ Sekunde genau vermittelst der Wippe gemessen werden. Die Ausflußmenge wird, wegen ihrer Kleinheit, durch Wägung bestimmt und das Volumen mit Hilfe des spezifischen Gewichtes berechnet. Das hierzu benutzte kleine Pyknometer wird vor dem Auffangen des Blutes auf 37° erwärmt und mit Blut aus der Arterie gefüllt und verschlossen, während es in Wasser von genannnter Temperatur versenkt wird. Der Druck, unter welchem das Blut durch die Kapillare strömt, wird mit Hilfe eines stark gedämpften Quecksilbermanometers registriert. Der zur Bestimmung des Mitteldrucks dienende Teil der Kurve, welcher im Zeitraum des Auffangens von Blut aus der Kapillare registriert wird, wird wie oben beschrieben, mit Hilfe Lufttransportes markiert. Der Nullpunkt des Quecksilbermanometers und das Lumen der Kapillare müssen hierbei auf gleicher Höhe liegen. Die zur Durchströmung dienende Kapillare wird mit der Karotis durch eine rechtwinklig gebogene Glaskanüle verbunden; Kapillare und Kanüle müssen möglichst aneinander stossen. Die Kanüle muß so geformt sein, daß sie an keiner Stelle ihres Lumens eine plötzliche und starke Erweiterung oder Verengerung hat, damit keine Luftbläschen sitzen bleiben. Die Kanüle muß bei Beginn des Versuchs ganz frei von Gerinnseln sein. Die Kapillare wird von einem Glasmantel umgeben, der durch Wasserdurchströmung auf $^1/_2$° über der Körpertemperatur des Tieres erhalten wird. Die Kapillare wird wasserdicht, aber leicht entfernbar in den Wassermantel eingesetzt, da unmittelbar nach Beendigung eines Versuches die Kapillare entfernt und gereinigt werden muß.

Wenn alles zum Versuch fertig vorbereitet ist, wird die Verbindung der Arterie mit dem Blutdruck K aufschreibenden Manometer hergestellt. Hat sich das Manometer eingestellt, so wird das Kymographion K in Gang gesetzt und die Klemme von demjenigen Gefäß entfernt, das sein Blut durch die Kapillare schickt und in das Gläschen B (Fig. 37c) abtropfen läßt. Während das Blut in die Kanüle einschießt, klopft man einige Male mit dem Finger auf diese oder auf den Glaszylinder, um das Anhaften von kleinen Luftbläschen an der Röhrenwand zu verhindern; sobald die ersten Tropfen Blut aus der Kapillare fließen, wird das Kymographion K_{II} in Gang gesetzt, und eine oder einige Secunden darauf legt der Experimentator den Hebel der Wippe W um, wodurch das Wägegläschen W eingeschaltet und Marken an den beiden Kymographien erzeugt werden. Wenn die Papierschleife des Kymographion K_{II} ihrem Ende nahe ist, wird die Wippe zum zweiten Male umgelegt und die beiden Kymographien werden von Gehilfen arretiert. Rasch hintereinander sind noch folgende Manipulationen auszuführen. Der Glasstreifen G, (Fig. 37c) wird durch Lüften der Klammer K, in das Wägegläschen gelegt, dieses mit Deckel verschlossen und in Sicherheit gebracht. Die beiden Arterien werden durch Klemmen geschlossen und der die Kapillare umgebende Glaszylinder wird entleert. Die mit der Kapillare verbundene Kanüle wird aus der betreffenden Arterie entfernt, die Kapillare aus dem Zylinder gezogen und mit einer in einer Pipette bereit gehaltenen 1% Sodalösung und darauf mit destilliertem Wasser, Alkohol und Äther durchspült und durch einen warmen Luftstrom getrocknet.

Aus dem Gewicht des gesammelten Blutes und des mit Hilfe des spezifischen Gewichtes berechneten Volums, dem mittleren Blutdruck, der Ausflußzeit und den Dimen-

sionen der beim Versuch verwendeten Kapillare läßt sich der Koeffizient K, welcher der Viskosität der Flüssigkeit umgekehrt proportional ist, berechnen.

Es ist $Q = K \frac{d^4 h}{l}$

wo Q die in der Zeiteinheit ausfließende Menge, d der Durchmesser, l die Länge der Röhre und h die Druckhöhe bedeutet.

Hürthle hat die Methode einer eingehenden Experimentalkritik in ihren einzelnen in Betracht kommenden Punkten unterworfen und ihre Brauchbarkeit erwiesen.

Teil IX. Bestimmung der Oberflächenspannung und Kapillarität.

Prinzip und Allgemeines. Die freie Oberfläche von Flüssigkeiten ist Sitz einer Energie. Die Zunahme, welche diese Energie bei einer Vergrößerung der Oberfläche um die Einheit erfährt oder die Energie der Flächeneinheit wird als Oberflächenspannung H bezeichnet. Die Größe H ist für jede Flüssigkeit bei bestimmter Temperatur eine Konstante. Sie steht in naher Beziehung zu dem Steigen von Flüssigkeiten in Kapillarröhren und wird mit Rücksicht hierauf Kapillaritätskonstante α genannt. Die Kapillarkonstante wird auch definiert als das Flüssigkeitsgewicht, welches von der Längeneinheit der Berührungslinie der Oberfläche mit einer vollkommen benetzten Wand getragen wird. Die Oberflächenspannung beeinflußt die Form, welche Flüssigkeiten annehmen, und bei der Berührung von verschiedenen Flüssigkeiten ist die Größe der resultierenden Oberflächenspannung bestimmend für die Erscheinungen der Ausbreitung. Diese Beziehungen verleihen der Oberflächenspannung und der Kapillarität Bedeutung in der Physiologie.

Zur Bestimmung der Oberflächenspannung sind in der Physik eine Reihe von Methoden gebräuchlich. Die einfachste ist die Bestimmung durch die Steighöhe in Kapillaren. Wenn ein Kapillarrohr vom Radius r in eine das Glas vollkommen benetzende Flüssigkeit von dem spezif. Gewicht s taucht, so steigt die Flüssigkeit darin über den Spiegel der umgebenden Flüssigkeit empor. Ist h diese Steighöhe, so wird auf diese Weise von den Kapillarkräften ein Flüssigkeitsgewicht $h \pi r^2 s$ über dem Flüssigkeitsniveau gehalten. Die Länge des Röhrenumfanges ist $2 \pi r$, also ist das von der Längeneinheit der Glasfläche getragene Gewicht.

$$\alpha = \frac{h \pi r^2 s}{2 \pi r} = \frac{1}{2} h r s$$

Um die Messung auszuführen, bedarf man einer kreiszylindrischen Kapillare, welche sehr sorgfältig gereinigt sein muß, insbesondere dürfen keine Spuren von Fett die Röhren verunreinigen, weil sonst keine vollkommene Benetzung eintritt. Eine Hauptschwierigkeit besteht gerade darin, daß Wasser sehr leicht Spuren von Verunreinigung, namentlich Fett, erhält. Die Kapillare wird genau lotrecht in ein größeres Gefäß eingetaucht, welches durch Stellschrauben horizontal nivelliert werden kann. Die Höhe des Aufstiegs über dem Flüssigkeitsniveau im größeren Gefäß wird mit einem Kathetometer abgelesen. Ehe die Messung geschieht, wird, um die Benetzung zu sichern, entweder die Kapillare tiefer als der Steighöhe entspricht in die Flüssigkeit versenkt oder die letztere aufgesogen. Die Temperatur wird

notiert. Die Kapillarröhre wird nach dem Versuch gereinigt und getrocknet und der Durchmesser entweder durch Calibrieren mit Quecksilber oder Messung eines glatt und kurz abgeschnittenen Stückes unter dem Mikroskop bestimmt. Schließlich ist noch das spezifische Gewicht zu ermitteln.

Wegen der anderen in der Physik gebräuchlichen Methoden wird auf die praktische Physik von Kohlrausch verwiesen. Zu Zwecken physiologischer Probleme sind die folgenden Methoden verwandt worden.

1. Methode von Fano und Mayer.

Diese Methode, welche für alle möglichen tierischen Flüssigkeiten anwendbar ist, beruht nach einem von Whatmough stammenden Prinzip darauf, daß nicht die Steighöhe in kapillarer Röhre, sondern der Druck bestimmt wird, der erforderlich ist, um die infolge der Kapillarität aufgestiegene Flüssigkeit wieder in Niveauhöhe zurückzudrängen.

Der Apparat (Fig. 38) ist konstruiert aus einem Wasserbad A von 1—1 $^{1}/_{2}$ Liter Rauminhalt, in welches eintauchen: 1. ein ungefähr 5 cm langes Reagensrohr B, welches die zu untersuchende Flüssigkeit enthält; 2. ein Baudinthermometer in Zehntel Grad geteilt C; 3. ein Wärmeregulator Reichert D, und 4. einen Schaumrührer E. Der Hauptteil wird durch einen Druckapparat dargestellt, welcher aus einem kleinen Glasrezipienten F gebildet ist, welcher Wasser enthält und an welchen ein langer Gummischlauch befestigt ist, um in G an eine Einrichtung von Glasröhren anzuschließen, welche einen Hahn H, ein Petroleummanometer K mit in Tausendstel geteilter Skala und ein kurzes Rohr M enthält, an welches, vermittelst eines kleinen Gummischlauches, sich die zylindrischen Kapillaren N, welche in die in B enthaltene Flüssigkeit tauchen, mitsamt einem kleinen Glasrührer O anschließen; hierzu kommt ein in der Luft befindliches Thermometer L.

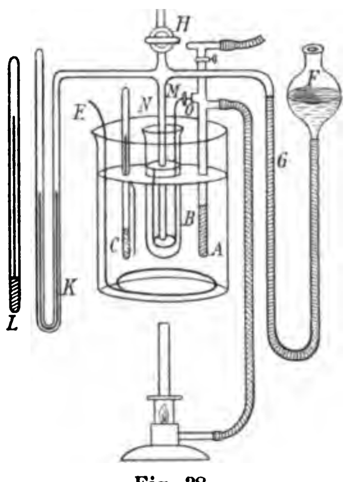


Fig. 38.

Will man eine Bestimmung ausführen, so senkt man eine Kapillare ein, welche einige Millimeter in die Flüssigkeit taucht; man schließt den Hahn H und hebt die Kugel F auf, bis der ausgeübte Druck, den man in jedem Augenblick am Manometer ablesen kann, derartig ist, um die Flüssigkeitsäule, welche in der Röhre aufgestiegen ist, auf das Niveau der in dem Reagensrohr enthaltenen Flüssigkeit zurückzuführen. Man läßt natürlich die beiden unteren Menisken übereinstimmen, und nachdem man eine bestimmte Zeit gewartet hat, bis der Meniskus der Kapillare stationär bleibt, liest man die Angabe des Manometers ab. Dieses ist mit bis auf 200° gekochtem Petroleum angefüllt, um die nachfolgende Verdampfung auszuschließen; die Entfernung des Bades vom Manometer ist derart, daß dieses nicht von den starken Ungleichheiten zwischen der Temperatur, bei welcher man arbeitet, und derjenigen des Raumes affiziert wird.

Alle Rezipienten, welche Versuchsflüssigkeiten enthalten, die Rührer, die Pipetten usw. bringt man in einer Chrommischung zum kochen, dann bringt man sie unter einen kontinuierlichen Strahl gewöhnlichen Wassers; dann wäscht man sie mit fließendem, destillierten Wasser; bisweilen entfernt man aus den Röhren, den Pipetten usw. die übriggebliebene Chrommischung direkt mit einem starken Dampfstrahl. Alles wird in einem Luftofen bis zu 150° getrocknet. Es wird nie Alkohol noch Äther angewandt.

Die sehr feinen Kapillaren werden sofort nach der Herstellung in die Chrommischung eingetaucht, welche zum Kochen gebracht wird. Sofort danach läßt man zweimal einen Dampfstrahl hindurchgehen, wobei man die beiden Enden der Dampfquelle nähert. Um die außen gebliebenen Chromsalzspuren zu entfernen, wäscht man sie im fließenden, destillierten Wasser; hierauf läßt man wieder den Dampf durchgehen, und vermittels besonderer Vorrichtungen werden sie an einen Aspirator angeschlossen, durch welchen sie mit einem heißen Luftstrom ausgetrocknet werden. Den äußeren Rand einer der Enden schmilzt man an der Flamme, um die Eintauchoberfläche regelmäßiger zu gestalten; die Kapillare verschließt man einzeln in Filtrierpapier. Während der Manipulation muß man achtgeben, sie nicht direkt mit der Hand zu berühren, um sie dann an dem richtigen Ende im Augenblick, wo man sich ihrer bedienen will, fassen zu können.

Ist die Kapillare eingetaucht, so saugt man mehrere Male die Flüssigkeit auf und läßt sie sukzessiv wieder sinken. Wenn alles die gewollte Temperatur erreicht hat, geht man zu der Bestimmung über. Es werden immer drei gemacht, wenn auch die Ablesungen unter sich immer identisch sind.

Die Kapillaren werden genau kalibriert, beziehentlich ihr Durchmesser genau bestimmt, wie oben angegeben wurde.

Die Berechnung ergibt sich folgendermaßen. Es ist

$$\pi r^2 h D g = 2\pi r \alpha \ (1), \text{ also } \alpha = \frac{1}{2}\frac{\pi r^2 h D g}{\pi r} = \frac{1}{2} r g D h,$$

wo h die Verschiebung im Manometer, D das spezifische Gewicht des Petroleums und g die Gravitationskonstante bedeutet.

Die genauere Formel, welche für den Fall gilt, daß die Flüssigkeit das Glas nicht völlig benetzt, sondern einen Randwinkel bildet, lautet

$$\pi r^2 D \left(h + \frac{r}{3}\right) g = \pi r \alpha. \quad (2)$$

Fano und Mayer haben diese Methode mit derjenigen von Guy Lussac verglichen und die gleichen Resultate erhalten.

Anmerkung. Für durchsichtige Flüssigkeiten dürfte sich zur Bestimmung der Kapillaritätskonstante noch mehr die Methode von Cantor eignen, bei welcher die Konstante aus dem Maximaldruck bei der Bildung kleiner Luftblasen bestimmt wird (Cantor, Annalen der Physik. 7. 698. 1902).

2. Die Tropfmethode von Traube (Stalagmometer).

Der Tropfen, welcher von dem kreisförmigen Querschnitt einer Kapillare mit dem Durchmesser r getragen wird, wiegt $2 r\pi\alpha$ mg. Man wiegt eine gezählte Menge von Tropfen und ermittelt daraus das Gewicht eines Tropfens.

Dann ist $\alpha = \frac{m}{2 r \pi}$.

Traube hat für die Anwendung der Tropfmethode sein Stalagmometer konstruiert, welches gleichzeitig auch zu Viskositätsmessungen brauchbar ist (Fig. 39). Mit dem Stalagmometer sind eine große Reihe von tierischen Flüssigkeiten untersucht worden.

Das Stalagmometer A besteht aus einem zweimal knieförmig gebogenem Rohre, dessen oberer Schenkel sich zu einer Kugel erweitert, durch welche ein bestimmtes, durch zwei Marken b und c abgegrenztes Volumen v von 6—8 cm Inhalt abgeteilt wird. Der mittlere und untere Schenkel des Rohres wird durch eine Kapillarröhre gebildet, deren äußerer Durchmesser 6—8 mm

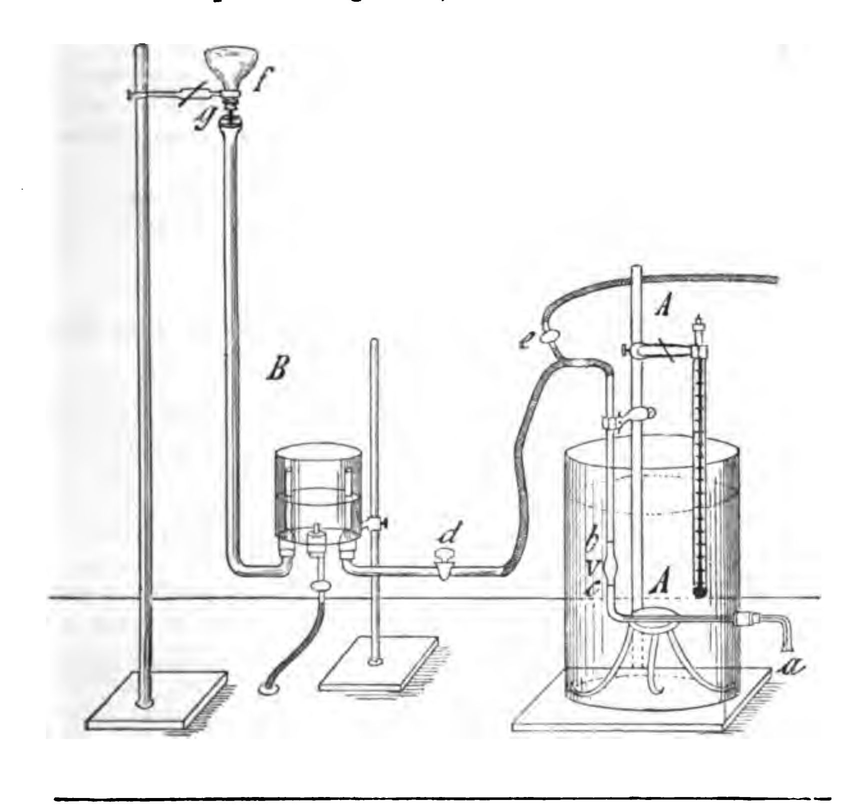


Fig. 39.

beträgt, während der innere Durchmesser so gewählt wird, daß die Bildungszeit eines Tropfens wenigstens vier bis fünf Sekunden beträgt. Die Abtropffläche a muß gut abgeschliffen sein. Zum Schutz gegen ein Heraufziehen der Flüssigkeit sind die Seitenflächen entweder konisch abgeschliffen oder werden vorsichtig gefettet. Der Teil B stellt den Druckapparat dar. In der umgekehrt aufgestellten dreifach tubulierten Wulfschen Flasche wird Druck durch das Steigrohr erzeugt, welches von der Flasche f her auf konstanter Niveauhöhe erhalten wird. Von e her kann die Flüssigkeit in das Stalagmometer aufgesaugt werden.

Bei dem Traubeschen Apparat werden nicht die Tropfen gewogen, sondern die Zahl der Tropfen gezählt, welche in dem Volum v zwischen den Marken b und c enthalten sind. Man saugt die Flüssigkeit staubfrei bis über die Marke b, stellt die Verbindung mit dem Druckapparat her und zählt, während der untere Meniskusrand der Flüssigkeit von b nach v passiert. Der Ausfluß soll im Tempo von etwa ein Tropfen in 5 Sekunden erfolgen; dementsprechend, ist der Druck zu regulieren; doch kann auch bei gleicher Druckhöhe mit einem Fehler von 1—2 Proz. gearbeitet werden.

Für die Berechnung gilt die Formel $\alpha_r \cos \vartheta_r = 7.45 \frac{z_w s_w}{z_r s_r}$, wo z_w und z_r die im Volumen v enthaltenen Tropfenzahlen von Wasser und einer anderen untersuchten Flüssigkeit und s_w und s_r die beiden betreffenden spezifischen Gewichte sind. Es wird nicht α, sondern der mit dem Kosinus des Randwinkels multiplizierte Gesamtausdruck gefunden (wegen der unvollkommenen Benetzung)

Eine genauere Kritik des Stalagmometers steht noch aus. Traube selbst gibt an, daß z. B. die Oberflächenspannung des Speichels mit dem Apparate nicht genau zu bestimmen sei.

Teil X. Bestimmung des Brechungskoeffizienten von Flüssigkeiten (Refraktometrie).

Prinzip und Allgemeines. Der Brechungskoeffizient einer Flüssigkeit hängt ab 1. von der Natur der enthaltenen Elemente, 2. von der Menge der enthaltenen Elemente, 3. von der Art der Verkettung der Atome, 4. vom Licht, 5. von der Temperatur. Der dritte Punkt kann hier außer Betracht bleiben, der vierte und fünfte kann konstant erhalten werden. Die Bestimmung des Brechungskoeffizienten wird dann von Wert sein, wenn es sich um eine in der Flüssigkeit vorhandenen Substanz von großer spezifischer Brechkraft handelt, die entweder allein vorhanden ist oder neben welcher andere in der gleichen Flüssigkeit befindliche Substanzen nur einen geringen Einfluß auf die Brechkraft besitzen. Praktisch wird der Brechungskoeffizient im Verhältnis zu atmosphärischer Luft bestimmt. Die gebräuchlichste Methode zur Ermittlung des Brechungskoeffizienten von Flüssigkeiten bedient sich der totalen Reflektion oder des streifenden Eintritts von Licht, was auf dasselbe hinausläuft. Erstere kommt in dem Refraktometer von Abbé, letztere in demjenigen von Pulfrich zur Anwendung.

Wenn J der Grenzwinkel der totalen Reflektion ist, so gilt $\sin J = \frac{1}{n}$ woraus n gefunden wird.

1. Abbés Refraktometer.

Zwei rechtwinklige Prismen aus Glas von hohem Brechungsexponent, beide ganz gleich geschliffen, sind mit ihren Hypotenusenflächen aneinander gelegt. Zwischen beiden Prismen ist ein Raum gelassen, der mit der zu untersuchenden Flüssigkeit angefüllt wird. Licht, welches auf die untere Fläche der Prismenkombination fällt, wird so gebrochen, daß es das ganze

System wieder aus der oberen Fläche parallel seiner früheren Richtung verläßt. Das Licht wird bei seinem Austritt aus dieser oberen Fläche durch ein feststehendes Fernrohr beobachtet. Die Prismenkombination kann um die senkrecht zur Fernrohrachse stehende Achse gedreht werden. Der durch einen Spiegel in die Richtung der Fernrohrachse gelenkte Strahl wird bei der Drehung der Prismen unter verschiedener Neigung auf die Flüssigkeitsschicht treffen. Kommt das Prismensystem bei der Drehung in die Stellung, bei welcher der in der Achsenrichtung verlaufende Strahl grade den Grenzwinkel der Totalreflexion mit der Flüssigkeitsschicht bildet, so wird das Ge-



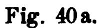


Fig. 40a.

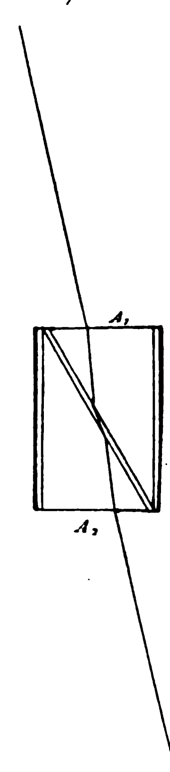


Fig. 40b.

sichtsfeld des Fernrohrs in eine obere und untere Hälfte geteilt, von denen die eine alle Strahlen erhält, welche unter kleinerem, die andere alle diejenigen aufnimmt, welche unter größerem Winkel auf die Flüssigkeitsschicht auffallen. Die letzteren werden sämtlich total reflektiert. Die Grenze zwischen Hell und Dunkel bildet eine Linie, welche bei richtig justiertem Instrument durch den Schnittpunkt des Fadenkreuzes im Fernrohrokular geht. Da man mit Tageslicht arbeitet, ist wegen der verschiedenen Brechbarkeit der einzelnen Strahlen die Grenzlinie ein farbiger Saum. Um diesen Saum zu beseitigen, ist zwischen Prismenkombination und Fernrohr ein aus Prismen zusammengesetzter Kompensator eingeschaltet. Durch Drehung desselben hebt man die Farbenzerstreuung auf. An dem Kompensator ist eine Teilung an-

gebracht; die Zahlen desselben geben mit Hilfe einer dem Instrument beigegebenen Tabelle die Dispersion Δ zwischen den Linien D und F. Die untere drehbare Prismenkombination ist an einer Alhidade, die oben einen Index trägt, befestigt; der Index geht an einer Teilung vorbei, welcher den Brechungsindex für das mittlere Gelb direkt ablesen läßt.

2. Das Eintauchrefraktometer von Pulfrich.

Bei weitem das zu physikalisch-chemischen Messungen am meisten verwandte Instrument ist das Refraktometer von Pulfrich. Es existieren mehrere Formen. Zu physiologischen Zwecken ist das als Eintauchrefraktometer bezeichnete Instrument das geeignetste, namentlich mit der von Reiß angegebenen Modifikation.

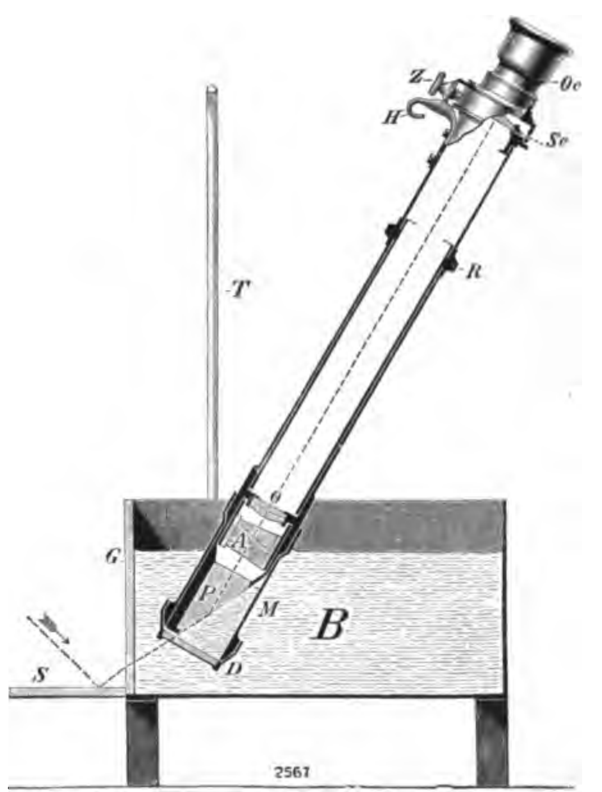


Fig. 41 a.

Das wesentliche an dem Apparat (Fig. 41 a) ist ein Prisma, welches direkt in die Flüssigkeit eintaucht, welche sich in einem auf 17,5 ° temperierten Becherg läschen befindet oder, nach Reiß' Angaben, wenn man nur Tropfen von Flüssigkeit zur Verfügung hat, dem ein zweites Hilfsprisma aufgesetzt ist. Zwischen den beiden Prismen wird der Flüssigkeitstropfen angebracht. Das Hilfsprisma hat eine Fassung, die genau in das Becherglas hineinpaßt (Reiß). Das Becherglas ist wasserdicht abschließbar. Das Becherglas befindet sich in einem Temperierbad. Die Firma Zeiß liefert u. a. eine sehr praktische Einrichtung von Löwe (Fig. 41 b). In dem mit dem Prisma unverrückbar fest verbundenen Fernrohr befindet sich in dem Okular eine Skala. Der Grenzwinkel der schiefen Inzidenz markiert sich auf der Skala in Gestalt einer Schattengrenzlinie. Entsprechend der Größe dieses Winkels, also entsprechend der Ablenkung, welche die Lichtstrahlen durch verschiedenartige Flüssigkeiten erfahren, erscheint die Schattengrenzlinie an verschiedenen Stellen des durch die Skala in 100 Teile eingeteilten Gesichtsfelds. Diese Grenzlinie zwischen hell und dunkel muß noch durch Drehung eines Kompensators, welcher oberhalb des Prismas in das Fernrohr eingesetzt ist, zu einer

farblosen scharfen Trennungslinie gemacht werden. Die ganzen Skalenteile werden abgelesen und notiert. Zur Ermittlung der Zehntelskalenteile dient eine Mikrometerschraube. Durch Drehen an dieser verschiebt man die Skala gegen die Grenzlinie, bis der vorher notierte Skalenteil sich mit der Grenze deckt. Der Index der Mikrometertrommel zeigt alsdann die Zehntelskalenteile an, die zu den Ganzen noch hinzuzufügen sind. Die Skala des Refraktometers ist so eingerichtet, daß bei einer Temperatur von 17,5° C. die Schattengrenzlinie des destillierten Wassers genau auf dem Teilstrich 15 steht. Die Grade der Skala werden nach einer dem Apparat beigegebenen Tabelle direkt in den Brechungskoeffizienten umgerechnet. Justiert wird der Apparat mit Hilfe von destilliertem Wasser.

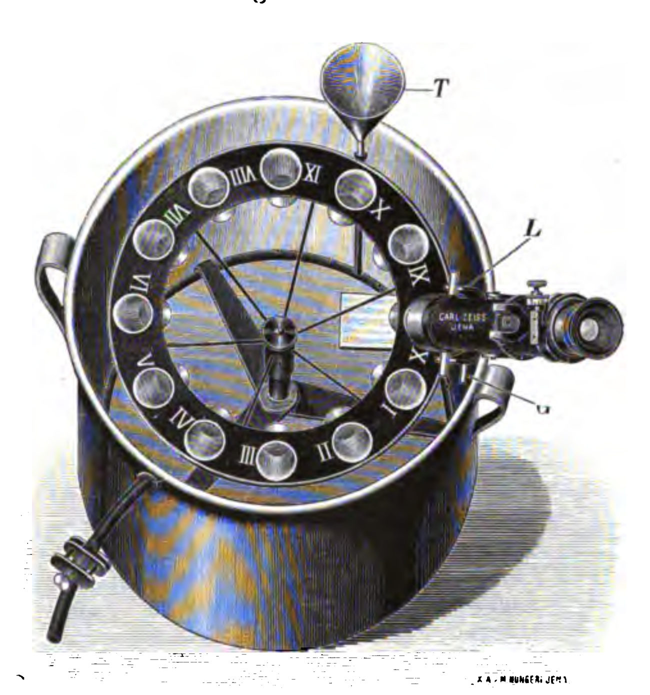


Fig. 41b.

Das Arbeiten mit dem Eintauchrefraktometer ist ein sehr bequemes und der Apparat ist von großer Empfindlichkeit. Darin liegt sowohl ein Vorzug, wie auch ein Nachteil; denn sehr geringe Abweichungen der Temperatur, sowie geringfügige Substanzbeimengungen, welche nicht Gegenstand der Untersuchung sind, können eventuell schon merkliche Ausschläge bedingen.

3. Physiologische Anwendungen.

Bestimmung des Eiweißgehaltes von Blutserum und anderen serösen Flüssigkeiten (**Reiß**).

Reiß hat die Refraktometrie zu einer sehr genauen Methode der Eiweißbestimmung im Blutserum und in Exsudaten ausgearbeitet. Das Blutserum enthält durchschnittlich über 8 Proz. Eiweiß und etwas über 1 Proz. andere Bestandteile. Nur das Kochsalz bricht die Lichtstrahlen ebenso stark wie Eiweiß, alle anderen Serumbestandteile haben eine geringere Lichtbrechung. Unter der Voraussetzung, daß der Gehalt an Kochsalz und den anderen Bestandteilen nur geringe Schwankungen erleidet — aber nur unter dieser Voraussetzung, welche am besten experimentell zu verificieren ist — ist es möglich aus der Größe der Lichtbrechung des Blutserums auf seinen Eiweißgehalt zu schließen. Nach **Reiß** beträgt der Brechungskoeffizient für 1 Proz. Serumeiweiß 0,00172

für die Nichteiweißkörper des Serums 0,00277. Man wird daher vom Brechungskoeffizienten des Serums den Anteil der Nichteiweißkörper = 0,00277 und den Brechungsindex des destillierten Wassers = 1,33320 abziehen und den Rest durch 0,00172 dividieren, um den Prozentgehalt an Eiweiß zu erfahren. Reiß hat zur Erleichterung die folgende Tabelle angegeben.

Um die Tabelle auch für andere Refraktometer brauchbar zu machen, sind die entsprechenden Werte des Brechungskoeffizienten beigegeben.

Tabelle von Reiß zur direkten Umrechnung der Skalenteile des Eintauchrefraktometers bei 17,5° C in Eiweißprozenten.

Berechnungsindizes zu nebenstehenden Skalenteilen	Blutserum			Ex- und Transsudate		
	npf. destilliertes Wasser 1,33320 npf. die Nichteiweißkörp. 0,00277 npf. 1 Proz. Eiweiß 0,00172			npf. destilliertes Wasser 1,33320 npf. die Nichteiweißkörp. 0,00244 npf. 1 Proz. Eiweiß 0,00184		
	Skalenteil	Eiweiß in Proz.	Diff. v Eiweiß f. 1 Skalenteil	Skalenteil	Eiweiß in Proz.	Diff. v. Eiweiß f. 1 Skalenteil
1,33590	22			22	0,14	0,210
1,33628	23			23	0,35	0,210
1,33667	24			24	0,56	
1,33705	25	0,63	0,220	25	0,77	0,206
1,33896	30	1,74	0,220	30	1,80	0,206
1,34086	35	2,84	0,220	35	2,83	0,206
1,34275	40	3,94	0,218	40	3,86	0,206
1,34463	45	5,03	0,218	45	4,89	0,202
1,34650	50	6,12	0,216	50	5,90	0,202
1,34836	55	7,20	0,216	55	6.91	0,202
1,35021	60	8,28	0,214	60	7,92	0,200
1,35205	65	9,35	0,212	65	8,92	0,198
1,35388	70	10,41		70	9,91	

In gewissen Fällen kann man den mit Hilfe des Refraktometers gefundenen Eiweißwert einer Flüssigkeit dadurch klarzustellen suchen, daß man den Brechungskoeffizienten nach Entfernung des Eiweiß wiederholt bestimmt. Bedingung aber ist 1. daß man quantitativ die letzten Spuren von Eiweiß entfernt, 2. daß man bei der zweiten Bestimmung nichts in die Flüssigkeit vom Fällungsprozeß hineinbekommt.

Insofern man mit Tropfen von Flüssigkeit auskommt, ist die refraktometrische Methode allen anderen überlegen, aber ihre Empfindlichkeit fordert zur Vorsicht auf. Nach eigenen Bestimmungen ist der Einfluß geringer Verdünnungen oder geringen Salzzusatzes durch folgende Zahlen gekennzeichnet: 3 cm^3 Serum + 0,2 cm^3 0,9% NaCl gefunden 7,1784% Eiweiß, berechnet (aus quantitativer Bestimmung größere Mengen) 7,2125%, 3 cm^3 Serum + 0,2 aqu. dest. gefunden 7,0056% Eiweiß, berechnet 7,2125%

Methode von Bence zur refraktometrischen Bestimmung des Blutkörperchenvolums.

Bence hat sich der refraktometrischen Methode zur Bestimmung des Blutkörperchenvolums in geringen Blutmengen bedient. Das Prinzip ist folgendes:

Es sei „S“ die Menge eines beliebigen Serums, „R“ dessen Refraktionsindex, „K“ die Menge einer 0,9%igen Kochsalzlösung, deren Refraktionsindex bei 18°C 1.3342 beträgt, wenn der des Wassers 1.3328 ist. Wird nun „S“ mit „K“ vermengt, so liegt der Refraktionsindex des Gemisches zwischen 1.3342 und „R“. Derselbe betrage „Rx“. Es ist S (R — 1.3328) + K 1.3342 — 1.3328) = S + K (Rx — 1.3328).

Sind R, K, Rx bekannt, kann S folglich berechnet werden:

$$S = \frac{K\,(Rx - 1{,}3342)}{R - Rx}$$

Wird also 100 Teilen Blut eine bekannte Menge, 0,9%iger Kochsalzlösung zugesetzt, so kann die in 100 Teilen Blut enthaltene Serummenge berechnet werden, sobald R und Rx ebenfalls bekannt sind.

Man kann mit dieser Methode mit ganz kleinen Mengen arbeiten, wenn das Blut in kleinen kalibrierten Kapillaren, in denen auch die Zumischung von Kochsalz stattfindet, aufgefangen wird.

Die Kontrolle dieser Methode an größeren Mengen mit anderen gleichfalls das Blutkörperchenvolum bestimmende Methoden ergab übereinstimmende Werte.

Anwendbarkeit der refraktometrischen Methode für andere Flüssigkeiten. Die Methode ist auch für Harn angewandt worden, im ganzen mit wenig Erfolg. Bis jetzt beschränkt sich die Brauchbarkeit der refraktometrischen Methode nur auf Lösungen, die nur eine einzige gelöste Substanz enthalten und auf solche Körperflüssigkeiten, bei denen der verschiedene Eiweißgehalt oder eventuell eine einzelne andere Substanz die einzige in Betracht kommende Variable darstellt. Ob das letztere zutrifft, muß aus den Bedingungen des betreffenden Versuches gesondert erkannt werden.

Literatur.

Literatur zu allen Teilen.

Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 10. Aufl. 1905.
Ostwald-Luther, Physiko-chemische Messungen. 2. Aufl. 1902.
Hamburger, Osmotischer Druck und Ionenlehre. Bd. 1—3. 1902—1904.
Bottazzi, Principii di Fisiologia. Vol. I. Elementi di chimica fisica. 1906.
Höber, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. 2. Aufl. 1906.

Teil I.

Roth, Arch. für Anat. u. Physiol. 1899. S. 416.
Hamburger, Osmot. Druck und Ionenlehre. Bd. II. S. 92.
v. Lesser, Arch. f. Physiol. 1878.

Teil II.

Hamburger, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1893. S. 151.
Hamburger, Osmot. Druck und Ionenlehre. Bd. I. S. 515.
Freund, Wiener med. Jahrbücher. 1886. S. 46.
Franz, Arch. f. experiment. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 49.
Arthus u. Pagès, Archives de Physiol. (5.) 2.; Compt. rend. 112.
Arthus, Journal de Physiol. et Pathol. 3 u. 4.

Morokhowetz, Le Physiologiste Russe. Vol. III. 1903/1904.
Rossi, Arch. di Fisiologia II. 1905. S. 638.
Michaelis und Rona, Biochemische Zeitschrift. Bd. II. 1907. S. 219.
Martin, Journal of Physiol. Vol. XX. S. 364.
Bechhold, Biochem. Zeitschrift 1907, S. 379.
Graham, Phil. Transactions 1861; Liebigs Annalen 121. 1862.
Kronecker, Festschrift für Ludwig 1873.
Huizinga, Pflügers Arch. Bd. XI. 1875.
Waymouth Reid, Journal of Physiol. XXI. 1897.
Siegfried, Ber. d. deutschen chem. Gesellschaft. XXXI. 1898. S. 1825.
Philippson, Hofmeisters Beiträge. Bd. 1. 1902.
Spiro, Hofmeisters Beiträge. V. 1904.
Gürber, Sitzungsber. d. med. physik. Gesellschaft zu Würzburg. 1875.
Loewy und Zuntz, Pflügers Arch. Bd. 58. 1894.
Arthus, Zeitschr. f. Biologie. N. F 16. 1896.
Asher und Rosenfeld, Biochem. Zeitschrift. Bd. III. 1907.
Schenck, Pflügers Arch. Bd. 47. 1890.

Teil III.

Roy, Proc. Physiol. Society 1884. Journ. of Physiology. 1884.
Hammerschlag, Zeitschr. f. klin. Medizin. XX. 1892, Ibid. XXI. 1892.
Eykmann, Virchows Arch. CXLIII 1896.
Schmalz, Arch. f. klin. Medizin 47. 1890.
Bleibtreu, Pflügers Arch. 51, 1892.
Bleibtreu, Pflügers Arch. 55, 1893.
Eykmann, Pflügers Arch. 60, 1895.
Hamburger, Zeitschr. f. Biol. 1897.
Golowin, Gräfes Archiv f. Ophthalm. Bd. XLIX, 1900.
Lazarus Barlow, Philos. Transact. of the Royal Soc. Vol 185. B. 1894.

Teil IV. Abteilung 1.

Pfeffer, Osmotische Untersuchungen. Leipzig 1877.
Morse u. Horn, Am. Chem. Journ. Vol. XXVI. 1901.
Tammann, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. X. 1892.
Walden, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. X. 1892.
Starling, Journ. of Physiol. Vol. XXIV. 1899.
Moore u. Parker, Amer. Journ. of Physiol. Vol. VII. 1902.
Moore u. Roaf, Biochemical Journ. Vol. II. 1906.
Oker-Blom, Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 15. 1903.

Abteilung 2.

Hamburger, Osmot. Druck- u. Ionenlehre. Bd. I. S. 63.
Beckmann, Zeitschr. f. physik. Chemie 2, 1888.
Beckmann, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 44. 1903.
Raoult, Zeitschr. f. physik. Chemie 9. 1892.
Raoult, Zeitschr. f. physik. Chemie 27. 1898.
Nernst u. Abegg, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 15. 1894.
Dastre, Osmose, Tonometrie, Cryoscopie. Tome I des Traité de Physique Biologique Paris. 1901.
Ponsot, Bull. Soc. chim. 17. 1897.
Schoenborn, Gefrierpunkts- und Leitfähigkeitsbestimmungen, Wiesbaden. 1904.
Cohn, Grenzgebiete der Chirurgie u. inn. Med. 1905.
v. Koranyi, Die wissensch. Grundlagen d. Kryoskopie. Karewskis Bibl., Heft 1. Berlin 1904.
Claude u. Balthazard, La Cryoscopie des urines 1901.
Prytz, Annal. d. Physik, Bd. 7. 1902.
Prytz, Zeitschr. f. phys. Chemie Bd. 47. 1903.
Dreser, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmak. Bd. 29. 1902.
Galeotti, Arch. f. Anat. und Phys. 1902.
v. Rhorer, Pflügers Arch. Bd. 109. 1905.

Hamburger, Zentralblatt f. Physiol. 1897.
Hedin, Skand. Arch. f. Physiol. Bd. 5. 1895.
Strauss, Zeitschr. f. klin. Medizin. Bd. 47. 1902.
Strauss, Bedeutung d. Kryoskopie f. Nervenerkrankungen. Moderne ärztliche Bibliothek 1904.
v. Koranyi, Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 33 u. 34. 1897.
Sabbatani, Arch. di Fisiologia, IV. 1906.
Sabbatani, Journal de Physiol. et Pathol. generale III.
Fredericq, Bulletin de l'Acad. Royale de Med. de Belgique, Bruxelles 1902.

Abteilung 3.

Friedenthal, Zentralblatt für Physiol. 1903.
Moore u. Roaf, Thompson Yates u. Johnston Laboratories Report. Vol. VI. 1905.

Abteilung. 4.

Kohlrausch u. Holborn, Das Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig, 1898.
Kohlrausch, Holborn u. Diesselhorst, Wiedemanns Annalen, 64. 1898.
Bugarszky u. Tangl, Pflügers Arch. Bd. 72. 1898.
Ostwald, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 2. 1888.
Stewart, Journ. of Physiol. Vol. 24. 1899.
Oker-Blom, Pflügers Archiv Bd. 79. 1900.

Abteilung 5.

Bugarszky u. Tangl, Pflügers Arch. Bd. 72. 1898.
Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik. 10. Aufl. 1905.
Steyrer, Hofmeisters Beiträge. Bd. II. 1902.
Bugarszky, Pflügers Arch. 68. 1897.
Roth, Virchows Arch. Bd. 154. 1890.
Oker-Blom, Pflügers Arch. Bd. 79. 1900.

Abteilung 6.

de Vries, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 2. 1888.
Overton, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 12. 1897.
Hamburger, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1887.
Hamburger, Zeitschr. f. Biologie Bd. 26. 1889, Bd. 24. 1890.
Loewi, Arch. f. exp. Pathol. u. Therap. Bd. 53. 1903.
Hedin, Pflügers Arch. Bd. 60. 1895.
Hedin, Skand. Arch. f. Physiol. 1895.
Gryns, Pflügers Arch. Bd. 63. 1896.
Kottmann, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharm. Bd. 54. 1906.
Hamburger, Biochemische Zeitschrift. Bd. 1. 1906.
Demoor, Travaux de Laborat. de Physiol. de l'Institut Solvay. T. VII. 1905.

Teil V. Abteilung 1.

Le Blanc, Lehrbuch d. Elektrochemie. 3. Aufl. Leipzig 1903.
Nernst, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 2. 1888, Bd. 4. 1889.
Einthoven, Ann. d. Phys. 12. 1903. S. 1059.
Bugarszky u. Liebermann, Pflügers Arch. Bd. 72. 1898. S. 51.
Höber, Pflügers Arch. Bd. 81. 1900. S. 522.
Höber, Pflügers Arch. Bd. 99. 1903. S. 512.
Höber, Hofmeisters Beiträge z. chem. Physiol. u. Pathol. Bd. 3. 1903. S. 525.
v. Rhorer, Pflügers Arch. Bd. 86. 1901. S. 586.
Farkas, Pflügers Arch. Bd. 98. 1903. S. 551.
Fraenkel, Pflügers Arch. Bd. 96. 1903. S. 601.
Bugarszky u. Liebermann, Pflügers Arch. Bd. 72. 1898. S. 51.
Szili, Pflügers Arch. Bd. 115. 1906. S. 82.
Foà, Arch. di Fisiologia Vol. III. 1906. S. 369.
Bjerrum, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 53. 1905. S. 428.
Böttger, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 24. 1897. S. 260.
Dreser, Hofmeisters Beiträge z. chem. Physiol. u. Pathol. Bd. 8. 1906. S. 285.

Abteilung 2.

Friedenthal, Zeitschr. f. Elektrochemie. 1904. S. 114.
Saleßky, Zeitschr. f. Elektrochemie. 1904. S. 204.
Fels, Zeitschr. f. Elektrochemie. 1904. S. 208.
Salm, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 57. 1906.

Abteilung 3.

Ostwald, Journal f. prakt. Chemie Bd. 29. 1884. S. 385.
Ostwald, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 3. 1889. S. 170, 241 u. 369.
F. A. Hoffmann, Zentralblatt f. klin. Med. 1889. S. 793.
F. A. Hoffmann, Schmidts Jahrbücher 233. 1892. S. 268.
Cohnheim, Zeitschr. f. Biol. Bd. 33. 1896. S. 489.

Teil VI.

Jungfleisch u. Berthelot, Ann. Chim. et Phys. Vol. 26. 1872. S. 396.
F. A. Hoffmann u. M. Vollhardt, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 28. 1891. S. 423.
Spiro, Über physik. u. physiolog. Selektion. Straßburg 1897 (Habilitationsschrift).
H. Meyer, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 42. 1899. S. 109.
Baum, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 42. 1899. S. 123.
Overton, Studien über die Narkose. Jena 1901.

Teil VII.

Graham, Philos. Transact. London. 1861.
Graham, Liebigs Annalen. Bd. 121. 1862.
Fick, Poggendorffs Annalen. Bd. 94, 1855. S. 59.
Stefan, Ber. d. Wiener Akademie. Bd. 78 u. 79.
Scheffer, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 2. 1888. S. 390.
Hamburger, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1896. S. 302.
Hofmeister, Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 27. 1890. S. 394.
Hofmeister, Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 28. 1891. S. 210.
Pauli, Pflügers Archiv. Bd. 71. 1898. S. 333.
K. Meyer, Hofmeisters Beiträge zur chem. Physiol. u. Pathol. Bd. 7. 1905. S. 393.
Bechhold u. Ziegler, Zeitschr. f. physik. Chemie. Bd. 56. 1906. S. 108.

Teil VIII.

Poiseuille, Ann. d. Chimie et de Physique. 7. 1843. S. 50. 21; 1847. S. 76.
Beck u. Hirsch, Münch. med. Wochenschrift. 1900. Nr. 49.
Beck u. Hirsch, Deutsch. Arch. f. klin. Mediz. Bd. 69. 1901. S. 503.
Beck u. Hirsch, Arch. f. exper. Path. u. Pharmakol. Bd. 54. 1905.
Heubner, Arch. f. exper. Path. u. Pharmakol. Bd. 53. 1905. S. 283.
Hürthle, Pflügers Arch. Bd. 82. 1900 S. 415.
Du Pré Denning u. John A. Watson, Proc. of Roy. Soc. Vol. 78. 1906. p. 328.

Teil IX.

Whatmough, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 39. S. 39.
Cantor, Annalen de Physik. 7. 1902. S. 698.
Fano u. Mayer, Arch. di Fisiologia. Vol. IV. 1907. S. 165.
Traube, Pflügers Arch. Bd. 105. 1904. S. 559.

Teil X.

Abbé, Apparate zur Bestimmung des Brechungsvermögens. Jena 1874 u. Sitzungsber. d. Jen. Gesellsch. f. Med. u. Nat. 1879.
Pulfrich, Zeitschr. f. angewandte Chemie. Heft 48. 1899.
Reiß, Der Brechungskoeffizient des Blutserums als Indikator f. d. Eiweißgehalt. Dissertation. Straßburg. 1902.
Reiß, Hofmeisters Beiträge z. chem. Physiol. u. Path. Bd. IV. 1904. S. 150.
Reiß, Arch. f. exper. Path. u. Pharmakol. Bd. 51. 1904. S. 18.
Löwe, Chemiker-Zeitung. Nr. 55. 1906.
Bence, Zentralblatt f. Physiol. Bd. 19. 1906. S. 199.

Verlag von S. HIRZEL in Leipzig.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern **A. Bethe**, Strassburg; **Chr. Bohr**, Kopenhagen; **K. Bürker**, Tübingen; **W. Caspari**, Berlin; **J. R. Ewald**, Strassburg; **O. Fischer**, Leipzig; **O. Frank**, München; **M. von Frey**, Würzburg; **S. Garten**, Giessen; **A. Gullstrand**, Upsala; **F. B. Hofmann**, Innsbruck; **R. Magnus**, Utrecht; **L. Michaëlis**, Berlin; **W. Nagel**, Rostock; **C. Oppenheimer**, Berlin; **I. P. Pawlow**, St. Petersburg; **J. Poirot**, Helsingfors; **A. Pütter**, Göttingen; **M. Rubner**, Berlin; **K. Schäfer**, Berlin; **F. Schenck**, Marburg; **J. Steiner**, Köln; **W. Trendelenburg**, Freiburg in B.; **W. Wirth**, Leipzig; **N. Zuntz**, Berlin und **H. Zwaardemaker**, Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt in Helsingfors.

Seit Cyon im Jahre 1876 seine „Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen“ herausgab, ist keine ausführliche Bearbeitung der physiologischen Arbeitsmethoden erschienen, und dennoch hat die Physiologie während der seitdem verflossenen 30 Jahre nicht allein in bezug auf ihren Inhalt sondern auch hinsichtlich der von ihr benutzten experimentellen Methoden außerordentliche Fortschritte gemacht, indem teils die alten Versuchsweisen vielfach verbessert und erweitert, teils auch ganz neue Methoden dem Dienste des Forschers gestellt worden sind. Da die Beschreibung derselben in der gesamten biologischen Literatur zerstreut ist, bereitet es selbst demjenigen Forscher, der eine sehr reiche Bibliothek zu seiner Verfügung hat, nicht geringe Schwierigkeiten, sie zu finden und in genügendem Grade zu übersehen.

Es liegt also hier unzweifelhaft eine wesentliche Lücke vor, die das vorliegende Handbuch möglichst auszufüllen versucht. Angesichts des sehr großen Umfanges der Aufgabe und da nur derjenige Forscher, der sich durch eigene wissenschaftliche Arbeit mit den zu besprechenden Methoden vertraut gemacht hat, wirklich befähigt ist, sie darzustellen, ist es dringend notwendig gewesen, eine weitgehende Teilung des Arbeitsgebietes durchzuführen.

Nachdem eine große Anzahl der erfahrensten Autoren sich bereit erklärt hatte, die einzelnen Kapitel eines Handbuches der physiologischen Methodik zu bearbeiten, hat sich die unterzeichnete Verlagsbuchhandlung entschlossen, das Werk herauszugeben.

Das Handbuch soll in drei Bänden, zunächst in Abteilungen ausgegeben werden. Die Verteilung des Stoffes ist aus dem nachstehenden Inhaltsverzeichnis ersichtlich. Kleinere Änderungen in der Reihenfolge bleiben vorbehalten.

Bis jetzt sind erschienen:

I. Band, **1. Abteilung**; Allgemeine Methodik I. Preis M. 5.—
2. Abteilung; Protisten — Wirbellose Tiere — Physikalische Chemie. Preis M. 7.50
3. Abteilung; Ernährung. Preis M. 9.50

II. Band, **1. Abteilung**; Blut und Blutbewegung I. Preis M. 14.—
2. Abteilung; Atmung — Verdauung. Preis M. 6.—
3. Abteilung; Muskelphysiologie. Preis M. 18.—
4. Abteilung; Blut und Blutbewegung II. Preis M. 14.—

III. Band, **1. Abteilung**; Sinnesphysiologie I. Preis M. 4.—
2. Abteilung; Sinnesphysiologie II. Preis M. 8.—
4. Abteilung; Zentrales Nervensystem. Preis M. 8.—

Im Druck befindet sich **I. Band, 4. Abteilung**; (Allg. Methodik II.)
III. Band, 3. Abteilung; (Sinnesphysiologie III.)
III. Band, 5. Abteilung; (Psychophysik.)

Die übrigen Abteilungen werden möglichst schnell nachfolgen.

Leipzig, im Februar 1911. **S. HIRZEL**
Königstraße 2. Verlagsbuchhandlung.

Inhaltsverzeichnis

Erster Band

Zweiter Band

Erste Abteilung (Blut und Blutbewegung I).

1. Die Gasarten des Blutes . . . . . . Chr. Bohr
2. Die Methodik der Antikörper-Forschung für physiologische Zwecke . . . . . . L. Michaëlis
3. Gewinnung, qualitative und quantitative Bestimmung des Hämoglobins. . . . . K. Bürker

Zweite Abteilung (Atmung, Verdauung).

1. Atembewegungen . . . . F. Schenck
2. Methodologie der Enzymforschungen . . C. Oppenheimer
3. Die Bewegungen des Verdauungsrohres R. Magnus
4. Die operative Methodik des Studiums der Verdauungsdrüsen . . . . I. P. Pawlow

Dritte Abteilung (Muskelphysiologie).

1. Thermodynamik des Muskels . . . . . K. Bürker
2. Allgemeine Muskelmechanik . . . . . M. von Frey
3. Spezielle Bewegungslehre . . . . . . O. Fischer
4. Elektrophysiologie . . . . S. Garten

Vierte Abteilung (Blut und Blutbewegung II).

Hämodynamik. . . . . O. Frank.

Fünfte Abteilung (Blut und Blutbewegung III).

Zählung der körperlichen Elemente des Blutes. . . . . K. Bürker.

Dritter Band

Erste Abteilung (Sinnesphysiologie I).

. Die sensorischen Funktionen der Haut M. von Frey
2. Geruch und Geschmack . . . . . . H. Zwaardemaker

Zweite Abteilung (Sinnesphysiologie II).

1. Helligkeit und Farben . . . . W. Nagel
2. Die Augenbewegungen usw. . . . . . F. B. Hofmann

Dritte Abteilung (Sinnesphysiologie III).

1. Die Dioptrik des Auges . . . . . . A. Gullstrand
2. Die nicht akustischen Funktionen des inneren Ohres . . . . J. R. Ewald
3. Die physiologische Akustik . . . . . K. Schäfer

Vierte Abteilung (Zentrales Nervensystem).

1. Das zentrale Nervensystem der warmblütigen Tiere . . . . W. Trendelenburg
2. Das zentrale Nervensystem der kaltblütigen Wirbeltiere . . . . J. Steiner

Fünfte Abteilung (Psychophysik. Sprachlaute).

1. Psychophysik . . . . W. Wirth
2. Phonetik . . . . J. Poirot

Druck von August Pries in Leipzig.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Strassburg; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** München; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Giessen; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Innsbruck; **R. Magnus,** Utrecht; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Rostock; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Göttingen; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenck,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Freiburg i. B.; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt

Erster Band

3. Abteilung

Ernährung

Mit 137 Figuren

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1911

Inhaltsverzeichnis.

Dieses Blatt ist beim Einbinden des vollständigen Bandes zu entfernen.

3. Abteilung:

Ernährung

I.

Stoffwechsel

von

W. Caspari und N. Zuntz in Berlin.

(Mit 45 Figuren.)

Im Anfange unserer modernen Stoffwechselphysiologie steht die wichtige Diskussion zwischen Seegen und Voit über die Frage, ob der gesamte Stickstoff der Nahrung den Organismus im Harn und Kot verläßt, oder ob ein Teil auch in der Atemluft zur Ausscheidung kommt. Nur durch subtile Technik, welche alle Verluste zu vermeiden verstand, konnte Voit den Nachweis führen, daß sich die Gesamtmenge des im Körper umgesetzten Stickstoffs in den Ausscheidungen wiederfindet. Schon diese historische Reminiszenz im Verein mit den immer wieder in der Literatur auftauchenden, auf vermeidbaren Versuchsfehlern beruhenden Irrtümern beweist uns, daß der Stoffwechselversuch einer ganz besonders sorgfältigen Innehaltung und umsichtigen Verwendung technischer Vorschriften bedarf, wenn er zu einem Resultate führen soll, das eine einigermaßen sichere Beantwortung der betreffenden Fragen bedeutet. Daß alle chemischen Manipulationen aufs exakteste von dem Experimentator selbst, nicht etwa von einem Laboratoriumsdiener vorgenommen werden müssen, bedarf leider auch heutzutage noch ausdrücklicher Erwähnung. Aber auch die Vorbereitung zur Gewinnung des Materials, das zur Beantwortung der speziellen Frage dienen soll, die rein methodische Anordnung eines Stoffwechselversuches erfordert Überlegung und Erfahrung. Wir beabsichtigen in dem Folgenden eine zusammenhängende Darstellung dieses Gegenstandes zu geben. Wir sind uns dabei bewußt, daß dieselbe nicht erschöpfend sein kann. Eine eingehende Behandlung dieser Art ist bisher unseres Wissens niemals unternommen worden. Die meisten diesbezüglichen Mitteilungen, welche die wissenschaftliche Literatur enthält, finden sich in den Publikationen der betreffenden Stoffwechselversuche verstreut und entgehen so häufig der Aufmerksamkeit, noch öfter der Erinnerung. Eine Fülle von Erfahrungen in der Methodik des Stoffwechselversuches ist überhaupt nie publiziert worden. Zahlreiche spezielle Einrichtungen und Kunstgriffe werden in den verschiedenen Instituten angewandt und allmählich usuell. Daher kann die folgende Darstellung auf Vollständigkeit in keiner Weise Anspruch erheben. Es soll vielmehr hier nur dasjenige gegeben werden, was sich entweder uns selbst in der Praxis der Versuche als gut erwiesen hat, oder uns nach den Erfahrungen anderer bewährt erschien.

Bei der Darstellung des Stoffwechselversuches wird man einen wesentlichen Unterschied zu machen haben zwischen den Versuchen an Menschen und an Tieren. Der Versuch an Menschen gestaltet sich einfacher und sicherer, weil der Mensch als vernunftbegabtes Wesen auf die Intentionen des Experimentators einzugehen vermag, bei gutem Willen zur gewünschten Tageszeit die vorgeschriebenen Speisen aufnimmt und den Harn zur festgesetzten Stunde lassen wird. Auf der anderen Seite jedoch bietet der Versuch an Menschen wesentliche Unsicherheiten, weil die unbedingt nötige ständige Überwachung außerordentlichen Schwierigkeiten begegnet, und ein nur kleiner Verstoß gegen den Plan des Versuches unberechenbare Komplikationen und Irrtümer erzeugen muß. Die idealste Form des Versuches am Menschen wird daher in allen Fällen, in denen es irgendwie durchführbar ist, der Selbstversuch sein. Jedenfalls erfordert es die besondere Stellung, welche den Versuchen am Menschen in der Technik des Stoffwechselversuches zukommt, daß ihm in jedem einzelnen Abschnitte unserer Abhandlung eine besondere Betrachtung geschenkt werde.

Auswahl des Versuchsindividuums.

Wenn man einen Stoffwechselversuch plant, so ist die Auswahl eines geeigneten Versuchsindividuums für das Gelingen von äußerster Wichtigkeit.

Was zunächst diejenigen Fragen betrifft, welche Probleme der Physiologie des Menschen zum Gegenstande haben, so muß in erster Linie darauf hingewiesen werden, daß die Resultate von Tierversuchen sich nur in seltenen Fällen vollgültig auf den Menschen übertragen lassen. Man tut daher am besten, in allen diesbezüglichen Fragen den Menschen selbst als Versuchsobjekt zu wählen oder wenigstens einen Versuch am Menschen an den Tierversuch anzuschließen, um sich von der Schlüssigkeit der Resultate des letzteren zu überzeugen. Natürlich muß das Versuchsindividuum, wenn nicht besondere Fragen aus dem Gebiete der Pathologie vorliegen, in jeder Hinsicht gesund sein. Bei der Auswahl eines Menschen zu Versuchszwecken haben wir auf das Lebensalter zu achten, da der Stoffwechsel des Kindes, des Erwachsenen, des Greises Unterschiede zeigt. Wenn man den betreffenden Versuch nicht an sich selbst auszuführen vermag, so tut man gut, zum Versuche ein gebildetes, sachkundiges Individuum zu wählen, welches die Fragestellung versteht und selbst Interesse an ihr nimmt; denn man darf nicht vergessen, daß ein solcher Stoffwechselversuch außerordentliche Anforderungen an die Gewissenhaftigkeit, Entsagungskraft und Energie des Versuchsindividuums stellt. Niemals kann man bei einem Versuchsobjekt, welches man für billiges Geld gemietet hat, erwarten, daß es das Nahrungsregime sorgfältig innehält und die Exkrete ohne jeglichen Verlust sammelt. Dies gilt besonders auch von Patienten in Krankenhäusern, wenn dieselben nicht unter strengster Klausur und sorgfältigster Bewachung gehalten werden. Für den Versuch eignen sich Männer besser als Frauen, weil das quantitative Auffangen des Harnes leichter gelingt und derselbe freier ist von Beimengungen, welche nicht aus der Niere, sondern aus den äußeren Harnwegen stammen. Zudem ist zu bedenken, daß auch bei gesunden Frauen der Versuch durch

Eintritt der Menstruation gestört werden kann, welche Stoffwechsel-Anomalien mit sich bringt.

Von Tieren eignen sich für die meisten Fragen im allgemeinen Karnivoren besser als Herbivoren. Das Kaninchen, welches sonst so vielfach als Versuchstier des Physiologen verwandt wird, kommt für den Stoffwechselversuch nur selten in Betracht. Der Grund ist darin zu suchen, daß die quantitative Gewinnung von Harn und Kot außerordentlichen Schwierigkeiten begegnet. Eine Dressur dieser Tiere ist nicht möglich, und es muß daher der Harn künstlich gewonnen werden, worüber später Näheres gesagt werden wird. Wie alle Herbivoren besitzt das Kaninchen einen außerordentlich langen Darm und besonders einen sehr langen und voluminösen Blinddarm. Das hat zur Folge, daß die exakte Abgrenzung des Kotes sehr schwierig ist. Weiter kompliziert wird die Aufgabe dadurch, daß diese Tiere Koprophagen sind. Auch hierauf wird später noch einzugehen sein.

Das Tier, an dem wir mit Vorliebe Fragen des Stoffwechsels zu lösen suchen, ist der Hund. Der Hund eignet sich so gut für diese Zwecke, weil er zunächst infolge seiner Intelligenz sich vorzüglich dressieren läßt, was besonders dann von fundamentaler Bedeutung ist, wenn wir in den Versuch Untersuchungen des respiratorischen Stoffwechsels einbeziehen. Die Gewinnung von Harn und Kot ist bei diesen Tieren verhältnismäßig leicht, die Abgrenzung des letzteren begegnet bei dem einfachen Bau des Darmkanals keinen wesentlichen Schwierigkeiten. Dies hängt ja damit zusammen, daß der Hund in seinem anatomischen Bau ein exquisit karnivores Tier ist, obgleich er durch lange Domestizierung sich der menschlichen Ernährung sehr angepaßt hat. Nichtsdestoweniger ist darin einer der Gesichtspunkte gegeben, die das unmittelbare Übertragen der am Hunde gewonnenen Resultate auf den Menschen und andere Tiere verbieten, denn der omnivore Mensch steht in bezug auf die Leistungen seines Darmkanales zwischen den Karnivoren und den Herbivoren. Er vermag daher in der Verdauung der Pflanzenbestandteile mehr zu leisten als der Hund. Sicher spielt bei ihm entsprechend dem längeren Aufenthalte der Nahrungsreste im Darm die unterstützende Tätigkeit der Darmbakterien eine nicht ganz unwesentliche Rolle, wenn sie auch keineswegs so ausschlaggebend für die Ernährung ist, wie dies bei den Herbivoren und besonders den Wiederkäuern der Fall ist.

Wegen der leichteren Gewinnung des Harnes bevorzugen wir für diese Versuche in neuerer Zeit Hunde weiblichen Geschlechts.

Die Stoffwechselversuche an anderen Tieren, Rindern, Pferden, Ziegen, Schweinen, mancherlei Geflügel werden wohl nur dann ausgeführt, wenn es sich um die Lösung spezieller auf die betreffende Tierspezies bezüglicher Fragen handelt. Die Versuche an Tieren dieser Art sind mit zum Teil ganz außerordentlichen Schwierigkeiten verknüpft. Manchmal sind selbst erhebliche operative Eingriffe notwendig, um einen Stoffwechselversuch zu ermöglichen. Exaktheit und Eindeutigkeit der Versuchsresultate sind bedeutend schwerer zu gewinnen als beim Hunde. Wegen der vielfachen Schwierigkeit bei der Einstellung dieser Tiere sind die Versuche auch oft mit sehr erheblichen Kosten verknüpft. So ist es gekommen, daß unsere

Kenntnisse des Stoffwechsels der landwirtschaftlichen Nutztiere verhältnismäßig jüngeren Datums sind, und häufig noch an Hunden und Menschen gewonnene Erfahrungen einfach auf das Verhalten dieser Tiere übertragen werden.

Stallungen und Käfige.

Während bei Versuchen am Menschen das Unterbringen in strenger Klausur, wie bereits erwähnt, ein wesentliches Erfordernis der exakten Versuchseinrichtung ist, bereitet die Gewinnung von Harn und Kot im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten. Dagegen sind wir bei den Tieren meist gezwungen, Käfige zu verwenden, in denen das getrennte und quantitative Auffangen von Harn und Kot durch besondere Einrichtungen gewährleistet ist. Für kleinere Tiere, Meerschweinchen, Kaninchen, Hunde ist das Prinzip im allgemeinen das gleiche. Es besteht darin, daß die Tiere in einem Käfig untergebracht werden, dessen Boden aus einem Drahtnetzwerk oder aus Eisenstäben besteht, die in geringen Intervallen angeordnet sind. Hierdurch wird bewirkt, daß der Harn abfließen und in geeigneter Weise aufgefangen werden kann, während der Kot auf dem Gitterwerk liegen bleibt und dort gesammelt wird. Es ist klar, daß unter diesen Bedingungen ein exakter Versuch nur dann durchgeführt werden kann, wenn kein diarrhoischer Stuhl entleert wird, denn dieser durchtränkt sich leicht mit dem Harn, fällt durch das Gitterwerk hindurch und wird so in das Harnsammelgefäß gelangen. Andererseits kann ein solcher Kot größere Quantitäten Harns aufsaugen, dessen Bestandteile dann beim Kot mit in Rechnung gestellt würden. Natürlich wird durch beide Fehler ein ganz falsches Bild des Stoffwechsels des betreffenden Tieres gegeben. Es ist daher unbedingt notwendig, daß die Tiere auch in derartigen Stoffwechselkäfigen unter ständiger Kontrolle gehalten werden und namentlich der Kot sofort nach der Entleerung entfernt wird.

Unbrauchbar sind selbstverständlich unsaubere Tiere, die sich in dem Kot wälzen oder ihn zertreten, wodurch natürlich Verluste entstehen müssen. Allerdings ist dies bei einigermaßen gut gewöhnten Hunden wohl recht selten, während bei normalen Kaninchen die harte Konsistenz des kleinballigen Kotes einem Verschmieren desselben vorbeugt. Wenn Reste des Harns an den Stäben hängen bleiben, entstehen unvermeidlich Verluste durch ammoniakalische Gärung. Der Käfig muß deshalb häufig mit schwach salzsaurem oder oxalsaurem Wasser gespült werden. Der Stickstoffgehalt des Spülwassers ist auf jeden Fall zu berücksichtigen.

Auch die Haare und Epidermisschuppen können zu einer Verzerrung der Versuchsresultate führen. Diese Gebilde werden sich sowohl dem Harn wie dem Kot beimischen. Sucht man sie durch Zerkleinerung und feine Verteilung im Kote zu berücksichtigen, so wird man zu einer unrichtigen Anschauung des Stoffwechsels gelangen, vernachlässigt man sie, so kann man sich in der Gesamtbilanz des tierischen Organismus nicht unwesentlich irren. Die meisten Hunde verschlucken die sich ablösenden Epidermisgebilde, indem sie ihre Haut durch Belecken reinigen. Die massenhaft im Kot ausgeschiedenen Haare können dann dessen Bearbeitung sehr erschweren und das Bild der Ausnutzung der Nahrung fälschen. Man soll daher langhaarige

Hunde überhaupt nicht zum Stoffwechselversuch benutzen. Selbstverständlich läßt sich die durch Haarverlust bedingte Unsicherheit vermeiden, wenn man die Tiere schert, bevor man sie in den Versuch einstellt. Doch bringt auch dies mancherlei Unzuträglichkeiten mit sich. Erstens erkälten sich die Tiere leicht, wenn sie ihres natürlichen Wärmeschutzes beraubt werden, zweitens bilden sich bei längerem Aufenthalte im Stoffwechselkäfig durch das andauernde Liegen auf den eisernen Latten häufig schmerzhafte Stellen, ja selbst Drucklähmungen aus, Schädigungen, die durch Entfernung des natürlichen Polsters der Tiere begünstigt werden. Man tut deshalb am besten, wenn man Haare und Epidermisabgänge durch tägliches Auskämmen der Tiere für sich sammelt und untersucht. Die Verluste an Epidermisgebilden sind zur Zeit des Haarwechsels besonders groß, man darf aber die während dieser Zeit abgestoßenen Epidermisgebilde nicht

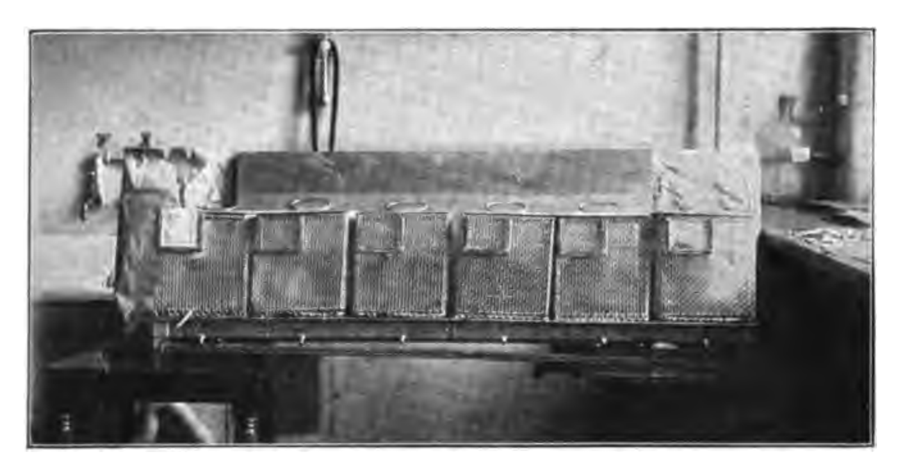


Fig. 1.
Rattenkäfig nach Wolff-Eisner.

auf den gleichzeitigen Stoffwechsel beziehen, da sie in viel längerer Zeit gewachsen sind.

Grouven[1]) stellte bei seinen Ochsen fest, daß der durchschnittliche tägliche Haarverlust besonders reichlich im Frühjahr war, indem er für die Monate Februar, März und April etwa 5 g betrug. In den übrigen Monaten betrug der Verlust nicht halb so viel, nämlich etwa 2 g. Bei einem Gehalt von 17 % N ergibt dies pro Tag in den Frühjahrsmonaten einen Verlust von 0,85 g N, in den übrigen Monaten von 0,34 g N, also immerhin nicht zu vernachlässigende Werte.

Ähnliches gibt Völtz[2]) für den Hund an. Er fand bei einer 11 kg schweren Hündin während der Sommermonate 0,42 g N in Haaren und

1) Grouven, Fütterungsversuche. Zweiter Bericht über die Arbeiten der agrikulturchemischen Versuchsstation zu Salzmünde, Berlin 1864.

2) Völtz, Über den Einfluß verschiedener Eiweißkörper uud einiger Derivate auf den N-Verlust, mit besonderer Berücksichtigung des Asparagins. (Pflügers Archiv 1905, Bd. 107, S. 360.)

Epithelien pro Tag im Durchschnitt, während im Kot nicht ganz doppelt so viel, nämlich 0,7 g N ausgeschieden wurden. Im Herbst und Winter dagegen betrug der Stickstoffverlust in Epidermisgebilden bei demselben Tier nur durchschnittlich 0,08 g N täglich.

Stoffwechselkäfige.

Kleinere Tiere, wie Mäuse, Ratten, Meerschweinchen, werden als Einzeltiere wohl niemals zu Stoffwechselversuchen verwandt, weil das quantitative Auffangen von Harn und Kot großen Schwierigkeiten begegnet, und ein geringer Fehler beim Aufsammeln schon sehr ins Gewicht fällt. Wohl aber ist es möglich, daß gelegentlich die Einwirkungen verschiedener Lebensbedingungen auf den Stoffwechsel gleichartiger Gruppen dieser Tiere geprüft werden. In diesem Falle lassen sich sehr gut Käfige verwenden, wie sie von Wolff-Eisner[1]) angegeben sind (Fig. 1 und 2). Diese bestehen

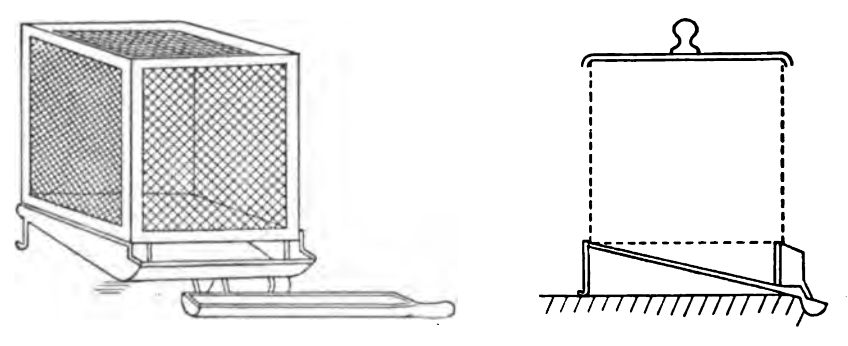


Fig. 2a. Fig. 2b.
Rattenkäfige nach Wolff-Eisner.

aus einem verzinkten Eisendrahtgeflecht. Sie stehen mit Füßen auf einer geneigten Unterlage, welche automatisch den Abfluß des Harns bewirkt und so eingerichtet ist, daß der Käfig selbst horizontal steht. Von den Käfigen fließt der Harn in eine Rinne, die zu einem Sammelgefäß führt. Da eine größere Anzahl von Käfigen an eine derartige Rinne angeschlossen werden kann, so ist es möglich, auf solche Weise den Harn mehrerer Tiere gemeinsam aufzufangen. Natürlich kann aber auch andererseits der Harn eines jeden Käfigs für sich gewonnen werden.

Käfige für Kaninchen.

Bei der Verwendung von Kaninchen zu Stoffwechselversuchen ist es ein wesentlicher Mißstand, daß diese Tiere, wie erwähnt, Koprophagen sind. Die Verhinderung der Koprophagie ist sehr schwierig, weil die Tiere viel-

1) Wolff-Eisner, Über einen Käfig mit automatischem Urinabfluß für mittelgroße Laboratoriumstiere. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. XLI, S. 301, 1906. Die Käfige sind zu beziehen bei Louis und H. Löwenstein, Berlin, Ziegelstr. 28.

fach die Kotballen vom After wegfressen. Auch sind wir über das Wesen der Koprophagie bisher nur sehr mangelhaft unterrichtet. Wir wissen nicht, ob das Kaninchen nur bei spärlicher Ernährung bezw. im Hungerzustande der Koprophagie frönt, oder ob die Wiederaufnahme des Kotes ein Analogon des Wiederkauens und damit ein Akt von physiologischer Bedeutung für die Ernährung des Tieres ist. Auch ist es unseres Wissens nicht bekannt, ob diese Tiere den Kot, welcher bereits einmal auf den Boden gefallen ist, wieder aufnehmen. Wir selbst wenigstens haben ein solches Verhalten nie beobachtet.

Man hat nun in verschiedener Weise versucht, die Tiere am Fressen ihres Kotes zu hindern. Nahe liegt es, einen Maulkorb zu verwenden, wie auch vielfach geschehen ist. Doch bleibt zu erwägen, ob nicht das durch den ungewohnten Maulkorb in seinem Wohlbehagen stark beeinträchtigte

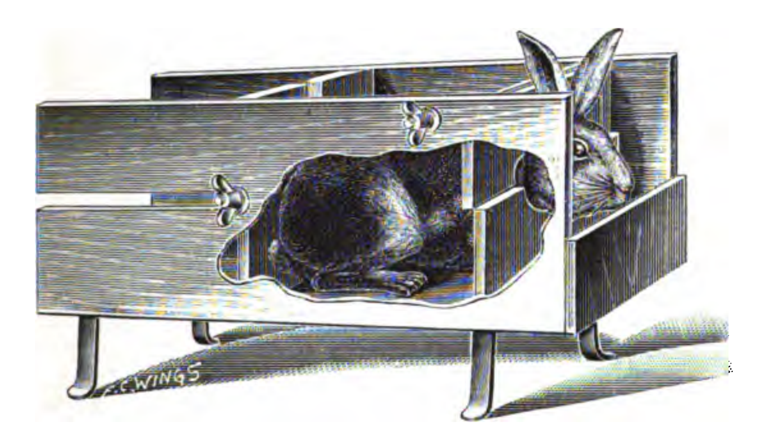


Fig. 3.
Zwangsstall für Kaninchen.

Tier unsichere Versuchsresultate gibt und z. B. der Nahrungsentziehung eher erliegt als ein Tier, von dem derartige schädigende Momente ferngehalten werden.

Wird ein solches Tier durch zu große Unruhe einen über die Norm gesteigerten Stoffwechsel zeigen, so kann das Umgekehrte eintreten, wenn man die Kaninchen in einen sogenannten Zwangsstall sperrt. In diesem wird durch Fixieren des Halses des Tieres ein Zurückbeugen desselben und Fressen des Kotes verhindert. Dies wird auf folgende Weise erreicht: Es befindet sich an der Vorderseite des Käfigs ein Ausschnitt, über welchen das Kaninchen seinen Kopf hinwegstreckt, um bequem an sein Futter zu gelangen. Ein mit entsprechender Vertiefung versehenes Holzbrett wird von oben über den Hals des Kaninchens geschoben und derart befestigt, daß ein Zurückbiegen des Halses unmöglich wird. Das Tier kann so sein Futter völlig ungehindert aufnehmen, ein Verzehren des Kotes jedoch und vollends ein Wegfressen desselben vom After wird vereitelt. (Fig. 3). Zweckmäßig wird auch das Hinterteil des Kaninchens durch ein verschiebbares

Brett derart fixiert, daß es keine allzu gewaltsamen Bewegungen mit dem Hinterkörper ausführen kann.

Die üblichen Stoffwechselkäfige für Kaninchen bestehen aus einem etwa 55 cm langen und etwa 30 cm breiten, 7 cm hohen Untersatz aus Zinkblech, dessen Boden leichtes Gefälle nach einem unten angelöteten Abflußrohr von etwa 1 cm Durchmesser hat. 2 cm über dem Boden hat der Untersatz eine innen ringsum laufende Leiste, auf der ein abnehmbares, feines Drahtnetz ruht. Das Drahtnetz ist durch untergelötete Blechstreifen so verstärkt, daß es sich unter der Last des Kaninchens nicht durchbiegt. (Fig. 4.) Der Kot bleibt auf diesem Drahtnetz liegen, während der Harn hindurchfließt. Seitenwände und Dach des Käfigs werden durch ein auf das Drahtnetz aufge-

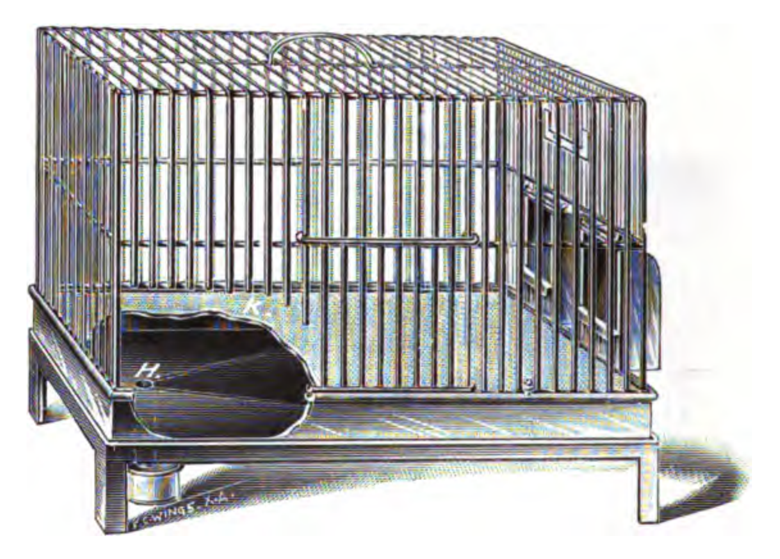


Fig. 4.
Stoffwechselkäfig für Kaninchen. K. = Kotnetz. H. = Harnabfluß.

setztes, weitmaschiges Gittergehäuse gebildet. Dasselbe ist abnehmbar und enthält Ausschnitte zum Einhängen der Futternäpfe. Die Firma Eberhard vorm. Nippe, Berlin NW., vertreibt Kaninchen-Käfige, welche einen doppelten Drahtboden besitzen. Auf dem engeren unteren bleibt der Kot liegen. Der Harn tropft durch die Drahteinlagen auf eine Zinkblechplatte, welche nach einem ca. 23 cm langen Zinkblechkasten, in dem der Harn aufgefangen wird, Gefälle hat. Der Käfig läßt sich durch Scheidewände von Zinkblech in mehrere Abteilungen teilen.

In letzter Zeit ist ein Stoffwechselkäfig für Kaninchen in den Handel gebracht worden, welcher in der Tat viele der geschilderten Unzulänglichkeiten vermeidet und es so ermöglicht, relativ exakte Stoffwechselversuche auszuführen. Der Käfig, der in nebenstehender Abbildung zur Darstellung gelangt, ist im Institute Salkowskis von Zelmanowitz angegeben worden. (Fig. 5.) Das Wesentliche besteht zunächst in einem länglich-ovalen Einsatz,

welcher annähernd der Körperform des ruhig sitzenden Kaninchens angepaßt ist. Er gestattet dem Tier, sich bequem zu hocken und den Kopf hin und her zu wenden. Jedoch ist es den Tieren unmöglich sich umzuwenden, so daß es ihnen sehr erschwert wird, den After zu erreichen. Ganz ausgeschlossen ist dies allerdings auch in derartigen Käfigen nicht, weil die Kaninchen, wie oft beobachtet worden ist, den Kopf unter dem Bauche hindurch zum After führen können.



Fig. 5.
Stoffwechselkäfig für Kaninchen nach Zelmanowitz.

Der ovale Einsatz hat vorn zwei Ausschnitte, durch welche das Kaninchen bequem den Kopf hindurchstrecken kann. Vor jedem derselben befindet sich ein Futternapf, so daß man dem Tiere verschiedene Nahrung getrennt reichen kann.

Der Boden des Käfigs ist mit einem grobmaschigen Sieb bedeckt, durch welches die Cybala hindurchfallen können, um erst auf einem zweiten engmaschigen Roste liegen zu bleiben. Dort sind sie natürlich für das Tier nicht mehr erreichbar, so daß das Fressen des einmal gelassenen Kotes ausgeschlossen ist.

Der Harn fließt durch beide Einlagen hindurch, gelangt auf den verzinkten Boden des Käfigs und von dort in ein untergestelltes Sammelgefäß.

Selbstverständlich bedarf es bei allen diesen Käfigen reichlichen Spülens, um Verluste an Harn und Harnbestandteilen zu verhindern, besonders da der alkalische Harn der Pflanzenfresser Ammoniakverluste begünstigt.

Stoffwechselkäfige für Hunde.

Auch die Stoffwechselkäfige für Hunde sind nach dem oben erwähnten Prinzip der Trennung von Harn und Kot gefertigt. Sie werden meist aus

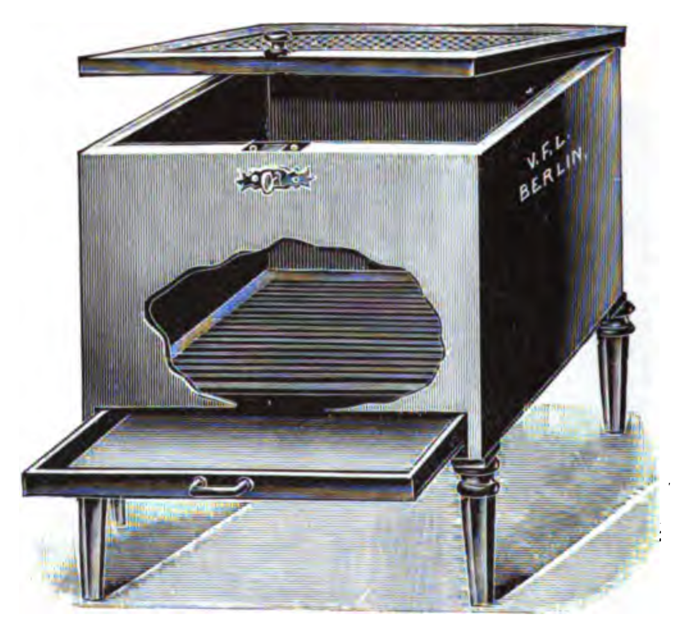


Fig. 6.
Stoffwechselkäfig für Hunde.

Holz hergestellt, und Boden sowohl wie Seitenwände werden mit Zinkblech belegt. Der Deckel besteht aus einem Holzrahmen, in welchen eine Reihe von Eisenstäben eingefügt ist, die etwas Licht zu dem Inneren des Käfigs hindurchlassen. Er ist aufklappbar und durch ein Schloß verschließbar. Über dem Boden befindet sich ein Metallrahmen mit Eisenstäben, auf welchem der Kot zurückgehalten wird. Der Boden läßt sich nach Art eines Schubkastens herausziehen, um die stets notwendige Abspülung mit sauerem Wasser ausführen zu können, durch welche er von restierenden Harnbestandteilen gesäubert und ein Ammoniak-Verlust des Harns verhindert wird.

In besonderen Fällen muß man für die Auskleidung des Käfigs statt der Zinkblechplatten gut gekühlte Glasscheiben verwenden. Es ist dies z. B. dann notwendig, wenn man Versuche über den Eisen-Stoffwechsel des Tieres ausführen will. Natürlich muß dann auch der Eisenrost, der zum

Zurückhalten des Kotes dient, in Fortfall kommen. Dafür muß die Glasplatte des Bodens eine stärkere Neigung besitzen, damit der Harn sofort abfließt. Diese Käfige sind wesentlich teurer als diejenigen mit Metallbelag, und die Scheiben zerbrechen leicht.

Für Untersuchungen des Eisen-Stoffwechsels, namentlich bei jungen Hunden, sind auch hohe Zylinder aus Ton verwandt worden.[1]) Ein geson-



Fig. 7.
Stoffwechselkäfig für Hunde nach Hans Meyer.

dertes Auffangen von Harn und Kot würden derartige Käfige nach Einlegen eines Porzellansiebes gestatten.

Es sind in neuerer Zeit vielfach auch Stoffwechselkäfige etwas anderer Art in Verwendung gelangt, die von Hans Meyer angegeben worden sind. (Fig 7.) Dieselben bestehen ganz aus Glas und zeigen ein verhältnismäßig starkes Gefälle nach der Mitte hin, so daß der gelassene Harn sogleich abfließt.

---

1) Fr. Müller: Experimentelle Beiträge zur Eisentherapie. Deutsche med. Wochenschrift. 1900. Nr. 55.

Natürlich können auch diese Käfige mit einem Eisenrost versehen werden, und so die sichere Trennung von Harn und Kot gewährleisten. Diese Käfige bieten dann gegenüber den gewöhnlichen Stoffwechselkäfigen aus Holz den Nachteil größerer Zerbrechlichkeit und nicht unerheblich höheren Preises. Der große Vorteil dieser Käfige ist darin zu sehen, daß eine ständige und unauffällige Beobachtung des Tieres ermöglicht ist, die natürlich in den undurchsichtigen Holzkäfigen mit erheblichen Schwierigkeiten verknüpft ist. Außerdem ist die gute Belichtung dem Wohlbefinden der Tiere förderlich.

Derartige Stoffwechselkäfige werden auch seit kurzer Zeit von den vereinigten Fabriken für Laboratoriumsbedarf hergestellt. Wie Fig. 7 zeigt, werden dieselben dort mit einem Drahtaufsatz hergestellt, der die Bedachung bildet. Nach Entfernung desselben können die Glasscheiben leicht nach oben herausgezogen werden.

Wir haben gefunden, daß sich ein solcher Käfig auch sehr gut für die Beobachtung des Stoffwechsels säugender Hündinnen adaptieren läßt. Man braucht zu diesem Zwecke nur die Jungen in einem kleinen Behältnis aus Zinkblech innerhalb des Käfigs zu betten. Die Alte entleert Harn und Kot stets möglichst entfernt von dem Lager der Jungen.

Käfige für Schweine.

Für Versuche an Schweinen erscheinen immer noch die Einrichtungen vorbildlich, welche Meissl[1]) bei seinen klassischen Untersuchungen benutzt hat. In diesen Versuchen erwies sich das getrennte Aufsammeln von Harn und Kot als besonders schwierig. Alle Maßnahmen, den Harn mit Vorrichtungen verschiedenster Konstruktion direkt aufzufangen, scheiterten teils an der Bauart der Schweine, teils aber auch daran, daß sie in ihrer Widerspenstigkeit und Zerstörungslust alle Teile des Apparates, die nicht aus Metall bestanden, ganz oder teilweise auffraßen.[2]) Da andererseits eine Fesselung der Tiere eine zu weit gehende Beeinträchtigung ihres Wohlbefindens hätte bedingen müssen, so konstruierte Meissl einen Zwangsstall, in welchem Harn und Kot aufgefangen wurden, ohne daß am Körper des Tieres selbst besondere Vorrichtungen angebracht werden mußten. Dieser Stall war 140 cm lang und 60 cm breit. Die Dimensionen waren derartig gewählt, daß das Tier sich in dem Stalle bequem legen und sich auch etwa $^1/_2$ m vor- und rückwärts bewegen konnte. Dagegen war es ihm unmöglich, sich umzudrehen. Diese Vorsichtsmaßregel war deswegen notwendig, weil auch das Schwein zuweilen seinen Kot wieder frißt. An der Stirnseite des Käfigs befand sich ein Ausschnitt, durch den das Tier bequem

1) Meissl, Untersuchungen über den Stoffwechsel des Schweines. Ztschr. f. Biologie Bd. XXII, 1886. S. 63.

2) Einer freundlichen Mitteilung des Herrn Geheimen Hofrats Prof. Dr. Kellner in Möckern verdanken wir die Kenntnis, daß es ihm inzwischen gelungen ist, einen Harntrichter für Schweine zu konstruieren, welcher sich praktisch gut verwenden ließ. Näheres ist noch nicht publiziert. Auch in dem landwirtschaftlichen Institut zu Göttingen (Fr. Lehmann) werden Harntrichter und Kotbeutel bei Schweinen verwendet, allerdings auch häufig genug von den Tieren lädiert.



den Kopf und Hals herausstrecken konnte, nicht aber die Beine. An diesen Ausschnitt ließ sich von außen der Futtertrog anschließen. Dieser war in einen Kasten eingeschlossen, der nach oben zu öffnen und mit Blech ausgeschlagen war. Das Tier konnte bequem stehend das Futter aufnehmen, ohne jedoch, wie es die Schweine so gern tun, in den Futtertrog hineinsteigen oder das Futter verzetteln zu können. Der Boden des Käfigs bestand

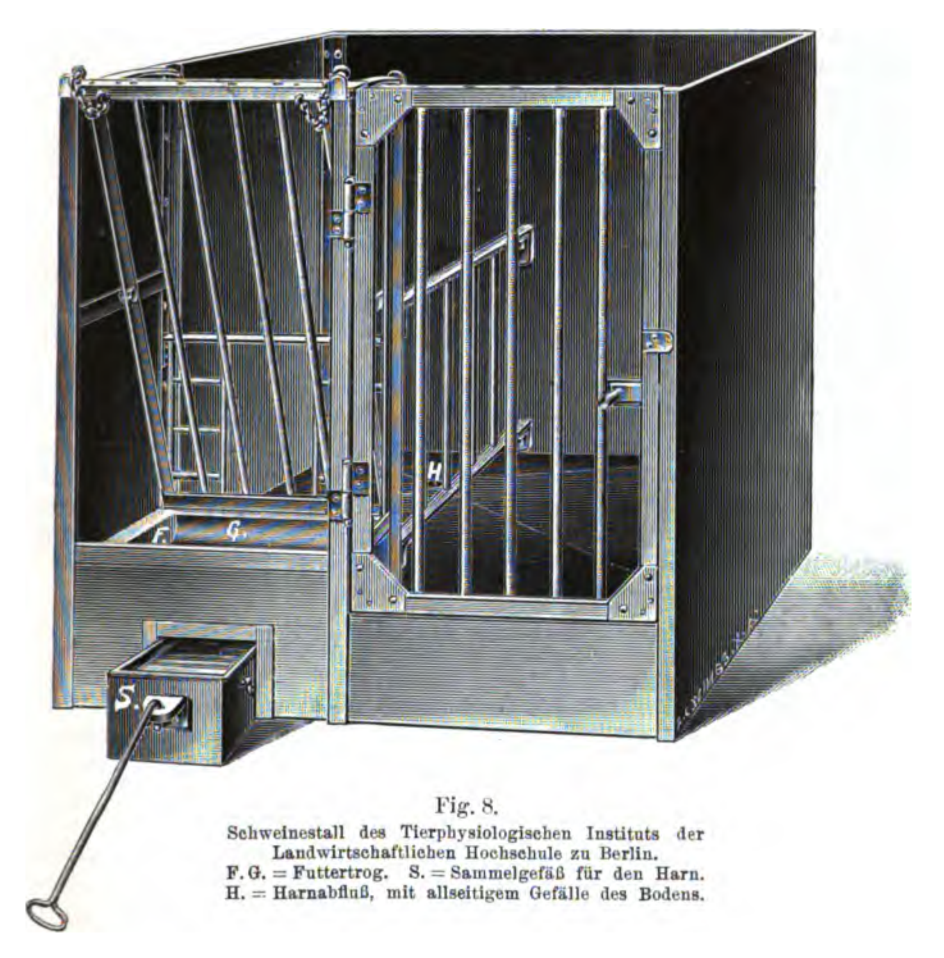


Fig. 8.
Schweinestall des Tierphysiologischen Instituts der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin.
F. G. = Futtertrog. S. = Sammelgefäß für den Harn.
H. = Harnabfluß, mit allseitigem Gefälle des Bodens.

aus zwei von vorn bezw. hinten gegen die Mitte etwas geneigten starken Glasplatten, um dem Harn so ein bequemes Abfließen zu gestatten. Auch die Seitenwände waren mit je zwei 35 cm hohen Glasplatten bekleidet, um ein Benagen des Holzes zu verhindern. Die Fugen zwischen den horizontal liegenden und aufrecht stehenden Glasplatten waren mit Glaserkitt verstrichen. Die etwas breiteren Querfurchen zwischen den beiden Bodenplatten dienten zum Ablaufen des Harns. Letzterer wurde durch einen Rohransatz in die seitlich unter dem Stalle stehende Sammelflasche geführt. Die Dimensionen waren derartig gewählt, daß beim Harnlassen der Strahl

gewöhnlich die Fuge direkt treffen mußte. Ein Herumspritzen des Harns fand wegen der geringen Höhe, aus der der Strahl kam, nicht statt. Um ein Haftenbleiben von Harn zu verhindern, wurde die untere Kante der Platten eingefettet, überdies der Boden nach jedem Harnlassen, oder mindestens mehrere Male am Tage, mit destilliertem Wasser abgespült. Diese Arbeit wurde dadurch wesentlich erleichtert, daß die Schweine nur selten Harn lassen. Zahlreiche Versuche ergaben, daß von je 1000 ccm Flüssigkeit, die auf die Bodenplatte ausgegossen wurden, nur höchstens 5—6 ccm nicht abflossen.

Das Spülwasser wurde unter Oxalsäure-Zusatz eingeengt und für sich verarbeitet. Man kann aus dem Stickstoff-Gehalt des Spülwassers auf die darin enthaltene Harnmenge und damit auch auf sämtliche darin enthaltenen Bestandteile schließen.

Die Gewinnung des Kotes ist bei Schweinen erheblich durch die Sauberkeit dieser Tiere vereinfacht. Das Schwein entfernt sich zum Kotlassen stets möglichst weit von dem Orte, an dem sich seine Nahrung befindet. So stellte Meissl auch fest, daß die Tiere zum Koten möglichst weit rückwärts gingen und ihren Kot erst dann absetzten, wenn sie mit ihrem Hinterteil an ein Hindernis stießen.

Wesentlich im Anschluß an die Angaben von Meissl sind die Käfige für Schweine im neuen Tierphysiologischen Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin konstruiert. Von ihnen mag Fig. 8 eine Anschauung geben. Neu ist eine Vorrichtung, die Tiere mit Hilfe von Gurten, wenn nötig, am Niederlegen zu verhindern. Die Gurte werden durch Schnüre getragen und gespannt, welche über Rollen an der Decke laufen. Ähnliche Vorrichtungen verwenden wir auch bei Pferden und Rindern.

Käfige für Hammel, Ziegen und Schafe.

In ähnlicher Weise wie die Käfige für Schweine sind auch Zwangsställe für Hammel, Ziegen und Schafe eingerichtet worden.

Den ersten Zwangsstall für Schafe, Hammel und Ziegen haben unseres Wissens Hellriegel und Lucanus[1]) konstruiert. Er wurde mit den denkbar geringsten Mitteln in primitivster Weise hergestellt, hat sich aber trotzdem auf das vorzüglichste bewährt. Verwandt wurden zwei Kästen aus starkem Holz, die mit Brettern ausgeschlagen waren und auf ca. 24 cm hohen Füßen standen. Die Länge betrug 105 cm, Breite 78 cm, Höhe 79 cm. An der schmalen Vorderseite und oben blieben die Kästen offen. An der offenen Vorderseite wurde eine kleine Brücke angesetzt, um den Tieren den Zugang zu erleichtern. Dieselbe diente auch als Standort für Futtertrog und Trinkgefäß. Durch das Aufstellen dieser Geräte wurde zugleich ein Verschluß des Standes herbeigeführt. Um die Tiere vor dem Wundwerden zu schützen und ihnen den Aufenthalt im Käfige möglichst angenehm zu machen, wurde eine Einrichtung getroffen, die wohl nicht verdiente, der Vergessenheit anheimzufallen. Der Boden des Stalles wurde nämlich mit

1) Hellriegel und Lucanus: Über den Nährwert des durch Selbsterhitzung bereiteten Bruchhäcksels im Vergleich zu trocknem und angebrühtem Stroh. Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen Bd. VII. 1865. S. 242.



Sackleinewand und Heu gepolstert, und zwar so, daß das Polster nach der rechten Seitenwand des Kastens sich allmählich erhöhte, während in der Mitte ein Raum von ca. 25 cm Durchmesser von der Polsterung frei blieb. Letzterer diente dem Harntrichter (siehe unten) zum Durchtritt. Durch das ansteigende Polster wurden die Schafe sehr bald gewöhnt, sich nach der rechten Seite zu lagern und den nach der entgegengesetzten Seite führenden Schlauch des Harntrichters frei zu lassen.

In Anlehnung an den eben beschriebenen hat dann Henneberg[1]) einen auf 40 cm hohen Füßen ruhenden, oben offenen Behälter von 105 cm Länge, 65 cm Breite und 70 cm Höhe als Stall für Hammel benutzt. Die gesamte Einrichtung war viel weniger primitiv als die Hellriegels. Die Langseiten bestanden aus Blechwänden, die Hinterseite war durch eine Gittertür verschlossen. An der Vorderseite war zu unterst ein handhohes Stück Blechwand angebracht, darüber die schräg nach einwärts gerichtete Vorderwand des Futtertrogs, und darüber eine aus zwei Teilen bestehende Klappe. Diese Klappe war in der Mitte mit einem ovalen Ausschnitt versehen und lehnte mit ihrer unteren Kante gegen den vorderen Rand der Unterwand des Futtertrogs. Dieser nahm die ganze Breite des Zwangsstalles ein, und über ihm an seiner Hinterwand war eine Raufe angebracht. Die Seitenwände des Futtertrogs und der Raufe wurden durch eine ununterbrochene Verlängerung des Stalles gebildet. Infolge dieser Einrichtung war ein Herabfallen des Futters auf die Erde verhindert. Einem Verzetteln des Futters durch das Tier selbst war tunlichst dadurch vorgebeugt, daß dasselbe den Kopf durch den erwähnten, verhältnismäßig schmalen Ausschnitt der Klappe hindurchstecken mußte.

Zum Tränken diente ein Kasten aus verzinntem Eisenblech, welcher von einer in dem Boden des Futtertroges befindlichen, für gewöhnlich mittels einer Klappe geschlossenen Öffnung zugänglich war.

Der Stallboden war folgendermaßen eingerichtet: Die Mitte bestand aus einer flach trichterförmigen, 57 cm langen, 52 cm breiten, glasierten Steingutplatte. Der übrige Raum war mit 4 fugenlosen, bis zur völligen Sättigung mit Öl getränkten Sandsteinplatten ausgelegt, welche nach der Trichterplatte hin einiges Gefälle hatten. Der ganze Belag ruhte auf einer durch Eisenschienen verstärkten und gesteiften Blechplatte. Die obere Fläche der Tonplatte war mit einem symmetrisch angeordneten System von etwa 5 mm tiefen, 10 mm breiten und 1,5—2 cm voneinander entfernten Rillen durchzogen, welche auf die Mitte, als die tiefste Stelle der Platte, zuführten. Hier war die Platte durchbohrt, und ein nach unten hinausragendes Messingrohr eingekittet, das in eine untergestellte Harnflasche eintrat.

Der Kot wurde in einem einfachen, unten zugebundenen Leinwandsack aufgefangen, der an dem After der Hammel befestigt war.

Stohmann[2]) hat auf Anbringen eines Kotbeutels verzichtet und seinen Zwangsstall für Ziegen in ähnlicher Weise wie die oben beschriebenen Stoffwechselkäfige für Hunde auch zum Auffangen des Kotes eingerichtet.

---

1) Henneberg, Neue Beiträge zu einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer, Göttingen 1870.

2) Über die Ernährungsvorgänge des Milch produzierenden Tieres. Zeitschrift für Biologie Bd. 6, S. 204, 1870.



Der Zwangsstall bestand aus einem eisernen viereckigen Kasten, welcher auf hohen Füßen ruhte. Die Breite des Standes betrug 67 cm, die Länge 116,5 cm, die Höhe der Wände 94 cm. Auch der Boden bestand aus Eisenblech, und zwar der vordere Teil aus gewöhnlichem Blech, während der hintere aus einer stärken Blechtafel gebildet war, welche sich behufs Reinigung leicht entfernen ließ. In diese Blechtafel waren in Abständen von annähernd 5 mm lange Schnitte eingestanzt, von denen jeder 4 mm breit und 3,5 cm lang war. Auf 100 qcm Fläche kamen 27 solcher Öffnungen. Der Harn sollte durch die Schlitze vollständig abfließen, während

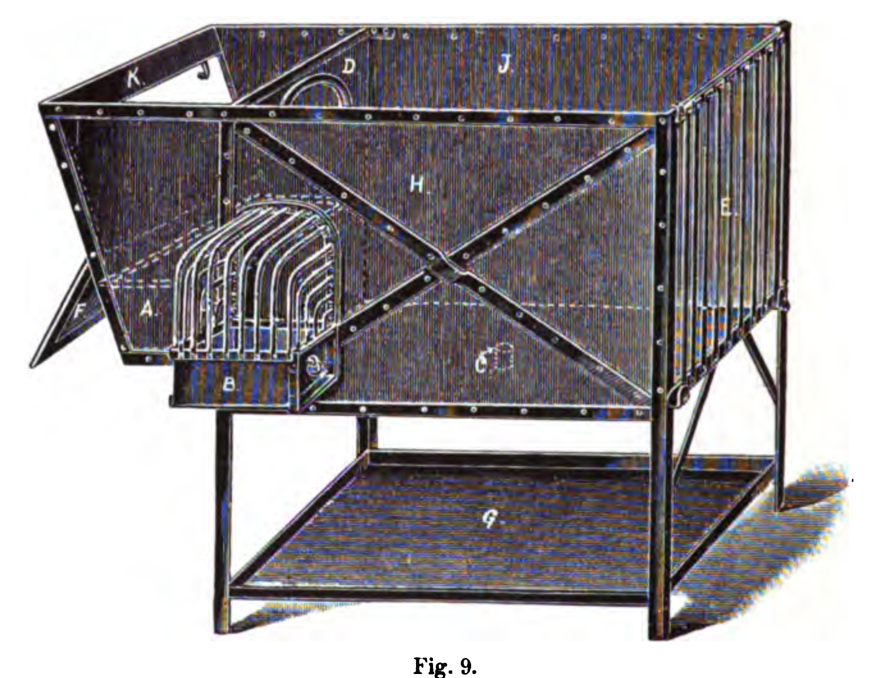


Fig. 9.
Stoffwechselkäfig für Schafe usw. nach Lehmann-Göttingen.
A. Raufe für Rauhfutter durch Klappe F. von außen zugänglich. B. Trog für Körnerfutter. D. Ausschnitt für den Kopf. C. Harnabfluß. E. Gittertür zum Einhängen.

von den Kotballen nichts hindurchfallen konnte. Unter dem Bleche befand sich ein viereckiger Blechtrichter, der den unteren Rand des Kastens mit seinen Rändern umgriff. Von diesem wurde der Harn in ein gläsernes Sammelgefäß geleitet. Am Kopfende war in einem Abstande von 39 cm vom Boden eine 21 cm weite und 43 cm hohe Öffnung zum Anbringen des Futterkastens. Dieser war ein Blechkasten, 25 cm lang, 36 cm breit, 71 cm hoch. An seinem dem Kopfe des Tieres zugekehrten Ende hatte er in einem Abstande von 10 cm vom Boden einen 21 cm weiten und 24 cm hohen Ausschnitt, durch den das Tier bequem seinen Kopf einführen konnte. Der Kasten war durch Schrauben an dem Stande befestigt und ließ sich mittels derselben auf einer der Größe des Tieres entsprechenden Höhe anbringen. Dem Ausschnitte gegenüber war in dem

Futterkasten eine ebenso große, durch eine Tür verschließbare Öffnung angebracht, um das Tier beobachten, den Futterkasten reinigen und etwaige Reste des Futters sammeln zu können. Unmittelbar neben der Futteröffnung befand sich in gleicher Höhe ein Trinkbehälter. Die Tiere wurden mittels leichter Ketten am Kopfende befestigt, so daß sie sich mit Bequemlichkeit legen, aber sich nicht umwenden konnten, und so den Harn und Kot stets an den geeigneten Stellen entleerten. Der ganze Apparat war an einem eisernen Gestell 58 cm über dem Erdboden montiert, so daß Sammelgefäße für den Harn bequem darunter Platz hatten.

In neuerer Zeit ist dieser Apparat im Göttinger Landwirtschaftlichen Institut etwas modifiziert worden und hat sich auch uns in dieser neuen Form vorzüglich bewährt. Ein wesentlicher Unterschied gegen das ältere Stohmannsche Modell besteht darin, daß die Öffnung für den Kopf nicht an dem Futtertrog selbst, sondern in einer besonderen davor befindlichen Blechplatte angebracht ist, welche aus zwei in Scharnieren beweglichen Teilen besteht. Ferner besitzt der Göttinger Käfig außer dem Futtertrog eine Raufe, um das Rauhfutter gesondert dem Tiere geben zu können.[1]) (Fig. 9 S. 16.)

Harntrichter und Kotbeutel.

Bei der oben geschilderten Stalleinrichtung nach Stohmann sucht man, wie erwähnt, Harn und Kot in ähnlicher Weise zu sammeln, wie in den bei Hunden bewährten und gebräuchlichen Stoffwechselkäfigen.

Doch bietet bei den größeren Herbivoren dieses Verfahren wesentlich größere Schwierigkeiten, die besonders durch den massigen und vielfach auch weichen Kot dieser Tiere bedingt sind. Der Kot kann sich leicht mit Harn imbibieren, und so die Trennung der Ausscheidungen illusorisch werden. Hinzu kommt bei Schafen und Ziegen, daß ein Teil des Harns durch die Wolle beim Niederlegen der Tiere aufgesogen wird, eine Fehlerquelle, unter der bereits Henneberg[2]) bei seinen Versuchen zu leiden hatte. Infolgedessen wendet man bei den größeren Herbivoren meist Apparate an, um Harn und Kot getrennt aufzufangen: Harntrichter und Kotbeutel. Diese Apparate werden an dem Tiere selbst befestigt und sind auch besonders deswegen bei den größeren Herbivoren gut zu verwenden, weil diese Tiere wesentlich geduldiger sind als Hunde und Schweine, und durch das Anbringen dieser Vorrichtungen weniger geniert werden als die genannten lebhaften Tiere.

Natürlich wird es in vielen Fällen genügen, nur einen dieser Apparate, etwa den Harntrichter, zu verwenden, während man den Kot von dem Boden des Stalles sammelt.

Harntrichter wie Kotbeutel müssen natürlich in Dimensionen und Anordnung je nach der Tiergattung, nach Geschlecht, Alter und dem speziellen Bau des Einzelindividuums variiert werden. Durch den anatomischen Bau der Tiere ist es bedingt, daß die Anlegung des Harntrichters bei männlichen Tieren, bei denen die Öffnung der Harnröhre von der des Darmes weiter entfernt ist, wesentlich leichter und einfacher ist als bei weiblichen.

1) Dieser Käfig ist zu beziehen bei Hermann Klapproth, Göttingen, Gothmarstr. 13.
2) l. c. S. 75.

Der erste Harntrichter, der bei Wiederkäuern zur Verwendung kam, wurde unseres Wissens von Julius Lehmann[1]) für ein fünf Monate altes Ochsenkalb konstruiert. Er bestand aus einem Gummibeutel, der mit einem Gurt versehen war, und unmittelbar unter der Mündung der Harnröhre fest um den Leib des Tieres geschnallt wurde. Doch waren die Erfahrungen, welche Hellriegel und Lucanus mit diesem Apparat machten, keineswegs befriedigend. Darum entschlossen sich die genannten Autoren zur Verwendung des oben beschriebenen Zwangsstalls und kombinierten dann diese Einrichtung mit Apparaten zum Auffangen von Harn und Kot. Für den Harn kam ein Gummibeutel von bauchiger Form zur Verwendung, in dessen oberen Rand ein starker Eisenring eingelegt war. Die Trichterröhre lief von der Mündung der Harnröhre auf den Boden des als Stall dienenden Kastens hinab und trat dort in einen Kanal ein, der durch eine verkehrt aufgenagelte Holzrinne gebildet wurde. Der Kanal diente sowohl zum Schutze wie zur Führung der Gummiröhre. Diese gelangte dann durch den Boden des Kastens in die zum Sammeln des Harns bestimmte Flasche.



Fig. 10.
Grouvens Harntrichter für Ochsen.

Der Kotbeutel war ein einfacher Leinwandbeutel von 35 cm Länge und 16 cm Weite. Um ihn nicht bei jeder Entnahme von Exkrementen ab- und wieder anschnallen zu müssen, war der Boden nicht zugenäht, sondern nur mit einem Bindfaden zugebunden.

Harntrichter und Kotbeutel waren durch ein Geschirr von elastischen Gurten am Tiere befestigt. Sämtliche Gurte waren mittels Schnallen miteinander verbunden, so daß der gesamte Apparat den körperlichen Formen eines jeden Tieres angepaßt werden konnte.

Einen Harntrichter für männliche Rinder gibt Grouven[2]) an und erläutert ihn durch zwei Abbildungen. (Fig. 10 und 21, S. 28.) Abbildung 10

1) Julius Lehmann: Über die mineralischen Nährstoffe, insbesondere über die Erdphosphate als Nährstoffe des jungen tierischen Organismus. Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen, Bd. I, S. 68, 1859.

2) Grouven, Physiologisch-chemische Fütterungsversuche. Zweiter Bericht über die Arbeiten der agrikulturchemischen Versuchsstation zu Salzmünde. Berlin 1864, Wiegandt & Hempel.

ist in 1/8 natürlicher Größe ausgeführt. Wie aus der Figur ersichtlich, wird der Harntrichter durch einen breiten Gurt über dem Rücken des Ochsen befestigt. Der Trichter besteht aus 3 mm starken Gummiplatten, die obere Öffnung ist etwa 42 cm weit und durch einen etwa 13 mm starken Eisenring gebildet, der zum Schutz des Gummis beim Liegen der Tiere mit Kalbleder überzogen ist. Zu gleichem Zweck hat auch das starke Abflußrohr von seinem freien Ende bis etwa 2/3 seiner Höhe einen losen Überzug von Kalbleder. Ohne diesen würden die scharfen Hufränder der Ochsen beim Auftreten den Schlauch leicht schadhaft machen. Am Ausfluß hat der Schlauch ein etwa 21 cm langes, 13 mm weites Kupferröhrchen, welches in den Kork der Harnflasche gesteckt wird. Das Röhrchen befand sich vollkommen unterhalb eines massiven eisernen Deckels, der die Harnflasche bedeckte (siehe Fig. 10).

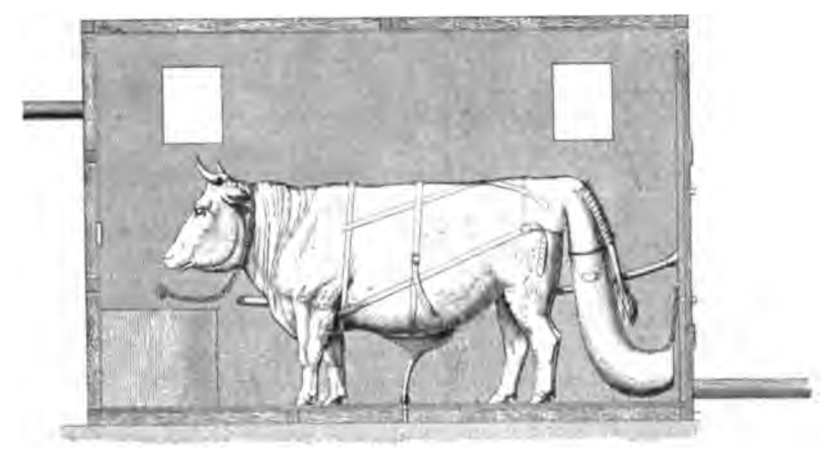


Fig. 11.
Ochse mit Harntrichter und Kotbeutel in Grouvens Respirationskammer.

Auf einen Kotbeutel hat Grouven im allgemeinen verzichtet und nur durch bestimmte Vorrichtungen des Standes dafür gesorgt, daß der Kot leicht und vollständig gesammelt werden konnte. Hierauf wird bei der Besprechung der Stallung für Rindvieh näher eingegangen werden. Dagegen verwandte er bei Versuchen im Respirationskasten einen derartigen Beutel, um zu vermeiden, daß die Luft mit den Ausdünstungsprodukten des warmen Kotes geschwängert wird. Es war dies ein Sack von starkem mit Leinewand überzogenem Gummi, der unten 26 cm Durchmesser hatte. Der obere Teil bestand aus gutem Kalbleder. (Fig. 11.) Da, wo letzteres mit dem Gummi zusammengenäht war, befand sich ein 26 cm weiter runder Eisenring, der, den Sack oben offen haltend, zugleich dazu diente, noch einen kleinen Ledertrichter zu halten, der inmitten des Sackes mündete. (Auf der Abbildung gestrichelt gezeichnet.) Der Lederansatz war so zugeschnitten, daß er bequem am oberen Schwanzende des Tieres und den Brustgurten befestigt werden konnte. Der eine dieser Riemen, der auf der Zeichnung nicht ersichtlich ist, zieht sich zwischen den Hinterbeinen und

dem Bauche bis zu dem Brustgurte hin. Durch seinen Zug sowie durch die Hebung des Schwanzes, die jeder Ochse beim Kotlassen ausführt, wurde das Afterloch derartig frei, daß der Kot stets direkt in den Kotsack hineinfiel und quantitativ aufgefangen wurde. Um ein Zerren des belasteten Kotsacks an dem Tiere zu verhindern, wurde das Ende des Sackes in geeigneter Höhe mit der Hinterwand des Kastens durch einen Riemen verbunden. Dadurch wurde auch verhindert, daß das Tier mit den Hinterfüßen auf den Sack trat. Die Tiere wurden durch das Anlegen des Kotbeutels nach den Ausführungen Grouvens in keiner Weise gehindert.

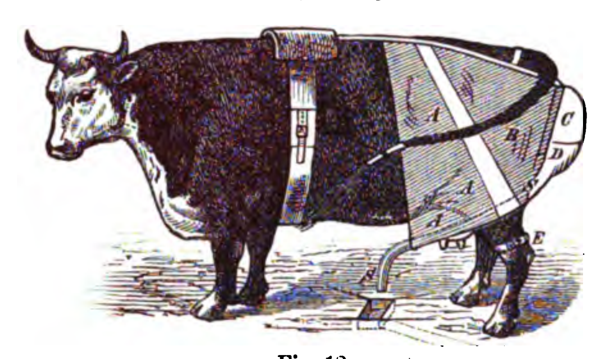


Fig. 12.
Apparat zur getrennten Sammlung der Exkremente von Kühen nach Kühn und Fleischer.

Wie bereits erwähnt, bietet das gesonderte Auffangen von Kot und Harn bei Kühen weit größere Schwierigkeiten als beim männlichen Rinde.

Kühn und Fleischer[1]) haben zuerst diese Aufgabe bei Kühen zu lösen versucht. Sie konstruierten einen komplizierten Apparat, welcher wohl am besten durch vorstehende Abbildung veranschaulicht wird. (Fig. 12.) Doch erwies sich diese Einrichtung nicht in jeder Beziehung als ausreichend. Wenn sich das Tier lagerte, verschob sich leicht die Öffnung des Trichters, und es drang Kot in den Harntrichter hinein, der dann häufig mit Harn vermischt wurde. Kühn und Fleischer waren daher genötigt, den irgend wie verdächtigen Kot als „Harnkot“ gesondert in Rechnung zu stellen.

Infolgedessen hat Hagemann[2]) einen Harnfänger konstruiert und ihn mit einem Kotfänger und einer aus glattem Leder gefertigten Kotschürze verbunden, welche verhindert, daß der Kot zur Erde fällt. Der Harnfänger bestand aus





Fig. 13.
Harntrichter für Kühe nach Hagemann.

1) Kühn und Fleischer: Versuche über den Einfluß wechselnder Ernährung auf die Milchproduktion, sowie über die Ausnutzung des Rauhfutters (Wiesenheu) und deren Veränderung durch Zugabe leicht verdaulichen Beifutters. Landwirtschaftliche Versuchsstation, Bd. XII. 1869. S. 203ff.

2) Hagemann: Beiträge zur rationellen Ernährung der Kühe. Landwirtschaftliche Jahrbücher, Bd. XXIV. 1895. S. 283.

1 mm starkem, innen und außen verzinntem Kupferblech. (Fig. 13.) Sein unteres Ende lief in einen Ansatz aus, an welchem ein starkwandiger, außen mit Stahlspiralen versehener Schlauch befestigt war, der zu der Harnflasche führte. Die Metallränder der Öffnung des Harnfängers wurden allseitig mit Gummi übernäht, um ein Wundscheuern der Tiere zu verhindern.

Am Tierkörper wird der Harnfänger durch ein System von Riemen in Verbindung mit stählernen Spiralfedern und Gummigurten derartig festgehalten, daß er die Öffnung der Vulva fest umschließt und auch während des Liegens der Tiere seine Lage nur außerordentlich wenig verändert.

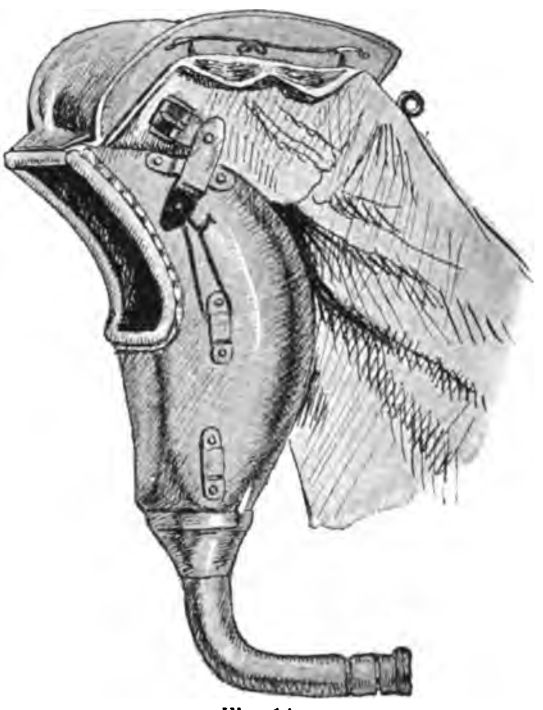


Fig. 14.
Harntrichter mit Kotfänger für Kühe nach Hagemann.

Diese Befestigung wird dadurch erreicht, daß unmittelbar hinter den Schulterblättern ein 10—20 cm breiter Brustgürtel fest umgeschnallt wird. Von diesem Brustgürtel laufen zwei Riemen längs des Rückens und des oberen Teiles des Schwanzes zu dem Harnfänger, an dem sie mittels Ösen befestigt sind. Zwei weitere Ösenpaare dienen zur Befestigung von Riemen, von denen das eine Paar an den Seitenflächen des Tieres entlang läuft, während das andere, aus Gummi gefertigt, um je ein Hinterbein des Tieres dicht unterhalb des Kniegelenkes befestigt ist.

Dicht vor dem vorderen Rande der Darmbeine verläuft parallel zu dem Brustgürtel ein circa 10 cm breites und etwa 1,5 m langes Querstück aus Leder, welches für die 4 Rückenriemen an den entsprechenden Stellen mit Schlaufen versehen ist. Die beiden Enden dieses Querstückes sind mittels Ringen und Schnallen an den Gummigurten befestigt, die um die Hinterbeine gehen. Es dient also dieses Querstück dazu, die 6 Befestigungsriemen des Harnfängers in der gewünschten Lage zu erhalten. Alle diese Teile sind in weiten Grenzen verschnallbar, so daß das Geschirr bei großen und kleinen Tieren gebraucht werden kann.

Zwischen den Endteilen eines jeden der 4 Rückenriemen und dem Rückenquerstück ist je eine stählerne Spiralfeder angebracht. Durch diese 4 Spiralfedern und die erwähnten Gummigurte an den Hinterbeinen wird es ermöglicht, daß das Tier alle Bewegungen ausführen kann, ohne daß der Harnfänger sich verschiebt.

Auf den letzteren ist nun der Kotfänger mittels Drahtligaturen derart befestigt, daß derselbe eine sich erweiternde, nach hinten schräg abfallende

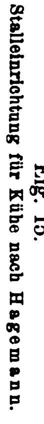


Fig. 15.
Stalleinrichtung für Kühe nach Hagemann.

offene Rinne darstellt. Der Kotfänger ist aus starkem Zinkblech zusammengelötet. (Fig. 14.) An den Seitenwandungen des Kotfängers und unterhalb desselben, also zwischen seiner unteren Fläche und der oberen des Harnfängers ist die Kotschürze befestigt.

Dieselbe besteht aus mehreren dicht zusammengenähten Stücken Ledertuch, die derartig zugeschnitten sind, daß der hineingleitende Kot bei Fest-

stellung der 4 Ecken der Kotschürze in der mittleren Partie aufgefangen wird und nicht herausfallen kann.

Hagemann hat dann einen ziemlich umfangreichen Aufhänge-Apparat für Kotbeutel und Harnfänger konstruiert, welcher ebenfalls auf nebenstehender Abbildung dargestellt ist (Fig. 15). Im wesentlichen besteht er aus 4 starken Schnüren, welche von einem eisernen Gestell herabhängen. Die Schnüre gleiten dort über Rollen. Sie tragen an ihrem einen Ende je einen der 4 Zipfel der Kotschürze, am anderen mit Schrot gefüllte Drillichbeutel. Die Beutel sind derartig angeordnet, daß die vorderen Zipfel des Kotfängers dauernd gehoben werden, so daß kein Kot herausfallen kann. Die hinteren

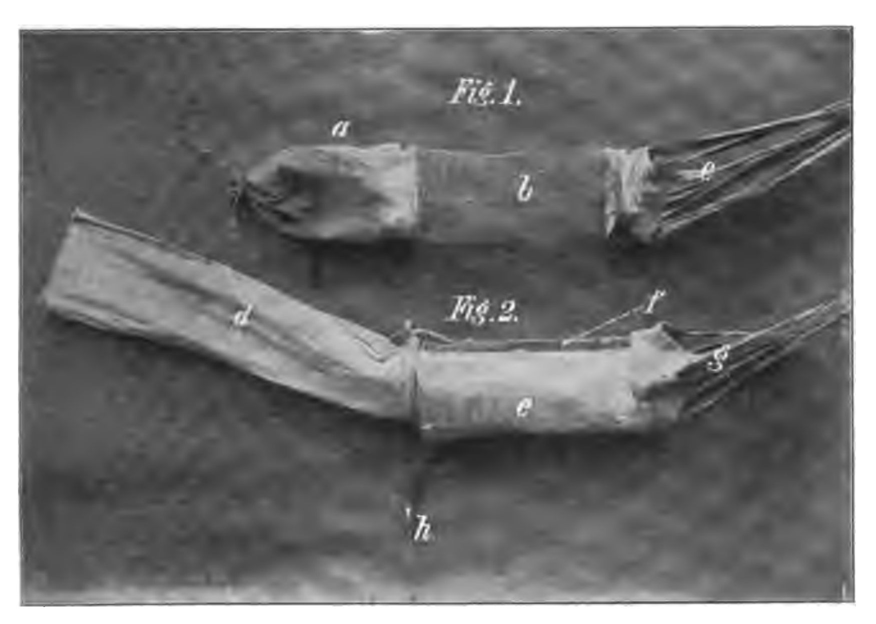


Fig. 16.
Harn- und Kotfänger für Ziegen und Schafe nach Fingerling.
1. von oben, 2. von der Seite gesehen.

Schnüre tragen je zwei Beutel, von denen die oberen, leichteren, stets ziehend wirken, die unteren aber erst dann in Aktion treten, wenn der hintere Teil der Kotschürze sich dem Boden auf etwa 60 cm genähert hat. Durch diese Einrichtung ist ein Sinken der Kotschürze auch beim Niederlegen der Tiere völlig ausgeschlossen.

Auch das Harnableitungsrohr wird durch einen Gummischlauch, der über eine an dem erwähnten eisernen Stativ befestigte Rolle läuft, äquilibriert und derart festgehalten, daß es allen Bewegungen des Tieres sicher folgt. Das Abflußende des Rohres wird durch eine starke eiserne Klammer fixiert.

Unter Verzicht auf den umfangreichen Apparat zum Auffangen des Kotes haben Ostertag und Zuntz[1]) einen dem Hagemannschen ähnlichen

1) Vorläufige Mitteilung: Studien über die Lecksucht der Rinder. Ztschr. f. Infektionskrankh. d. Haustiere 1906, Bd. II, Heft 6.



Harntrichter mit gutem Erfolge bei weiblichen Kälbern verwandt[1]). Der Kot wurde auf den blanken Holzboden des Standes entleert, meist aber, bevor er zu Boden fiel, von der stets vorhandenen Stallwache mit einer Schaufel aufgefangen.

Die beschriebene Apparatur hat Hagemann bei seinen Versuchen an Kühen gute Dienste geleistet. Zweifellos erscheint sie empfehlenswert, wenn man auch zugeben muß, daß die ganze Einrichtung recht kompliziert ist.

Dagegen konnte Fingerling[2]) bei Ziegen und Schafen die Hagemannsche Einrichtung nicht mit Erfolg verwenden. Das Perinäum erwies sich bei diesen Tieren so schmal, daß sich der Apparat trotz aller Vorsichtsmaßregeln ständig verschob, so daß Kot in den Harntrichter, Harn in



Fig. 17.
Harn- und Kotfänger für Ziegen und Schafe nach Fingerling in situ.

den Kotbeutel gelangte. Wollte man dies verhindern, so mußte man den Apparat derartig fest schnüren, daß ein Wundscheuern der Tiere nicht zu vermeiden war.

Auch mit dem oben erwähnten Zwangsstall nach Stohmann hatte Fingerling bei den weiblichen kleineren Herbivoren keine guten Resultate, denn der Harn wurde von ihnen in so kleinem Bogen entleert, daß stets der gesamte Kot damit durchtränkt war.

Fingerling hat daher für diese Tiere einen besonderen Apparat konstruiert, dessen Einrichtung und Befestigung am Tiere durch Fig. 16 und 17 erläutert wird.

---

1) Angefertigt von Hauptner, Berlin NW. Luisenstraße.

2) Gustav Fingerling: Neuer Apparat zur getrennten Auffangung von Kot und Harn bei kleineren weiblichen Tieren (Ziegen und Schafen). Ztschr. f. Biol., Bd. XLVII. 1906. S. 72.

Der Apparat besteht im wesentlichen aus einem 30 cm langen Zylinder aus engmaschigem und gut verzinntem Drahtgeflecht, der mit Hilfe eines mit Gummi ausgeschlagenen Tuchkranzes so an das als Stütze dienende Geschirr befestigt wird, daß After und Scheide vollständig von ihm umgeben werden. Das untere Ende des Zylinders umfaßt ein ebenfalls mit Gummi gefütterter Leinewandsack, der zur Aufnahme des Kotes dient. Der Apparat wird wie derjenige Hagemanns durch ein über eine Rolle gehendes Gegengewicht in der gewünschten Lage gehalten. Die Lage muß eine etwas geneigte sein, damit der Harn durch die Maschen in das Sammelgefäß abfließt, während der Kot in den Gummisack hineinfällt. Da der Kot bei diesen Tieren aber sehr fest ist, und zudem mit großer Kraft ausgestoßen



Fig. 18.
Neuere Anordnung zum Auffangen von Harn und Kot bei Ziegen und Schafen nach Fingerling.

wird, so ist die Berührung mit dem Drahtgeflecht, an dem höchstens einige Tropfen des gelassenen Harnes hängen können, eine äußerst geringe.

Zum Auffangen des Harnes dient nun ein Mantel aus dünnem, gut verzinntem Blech, welcher in der Weise um den Drahtzylinder gelegt wird, daß zwischen beiden ein Raum von ca. 1 cm bleibt (Fig. 16). Nur oben bleibt ein kleiner Teil des Drahtzylinders frei, um jeder Zeit eine Ausspülung vornehmen zu können. Am distalen Ende ist der Zwischenraum zwischen Drahtzylinder und Mantel durch einen vertikal angelöteten Blechstreifen rings geschlossen. Am tiefsten Punkte befindet sich dann die Ausflußöffnung, von der ein Gummischlauch in die Harnsammelflasche abführt.

Fingerling hat dann die so angeschirrten Tiere noch in einen Kasten gebracht, der in seiner Einrichtung im wesentlichen dem oben beschriebenen Stoffwechselkäfig für Hunde entspricht. Der Boden besteht aus Zinkblech, ist geneigt und trägt an seinem tiefsten Punkte eine Öffnung zum Durchführen des Harnableitungsrohres. Das Tier steht auf einer starken durch-

löcherten, gut verzinnten Eisentafel. Natürlich ist diese Anordnung des Kastens nur eine Reserve für den Fall, daß der oben beschriebene Harn und Kotfänger nicht tadellos funktioniert.

Um die Brauchbarkeit seines Apparates zu erweisen, hat Fingerling eine Anzahl Versuche mit Schafen und Ziegen angestellt. Aus den außerordentlich gleichmäßigen Zahlen für die Ausnutzung der Nahrung schließt er wohl mit Recht auf die gut gelungene Trennung von Harn und Kot.

Es erwies sich bei späterem Gebrauche jedoch, daß der Apparat in dieser Form die Tiere durch zu große Schwere belästigte. Infolgedessen hat Fingerling[1]) zunächst den Kotbeutel fortgelassen. Der Kot fällt nunmehr in das hintere, stark geneigte Ende des Kastens und gelangt dann durch einen Trichter in ein daruntergestelltes Gefäß. (Fig. 18.) Der Mantel zum Auffangen des Harns wird, um das Gewicht weiter herabzusetzen, aus Zelluloid hergestellt (von der Zelluloidfabrik von Kirchner und Wilhelm in Stuttgart).

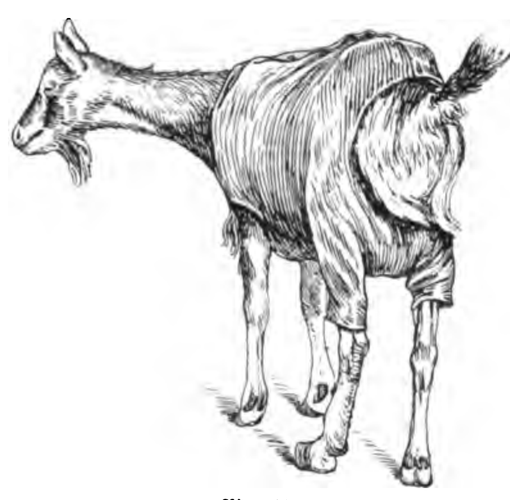


Fig. 19.
Euterschutz für Ziegen.

Es sei hier gleich eines weiteren Apparates Erwähnung getan, welcher ausschließlich bei Ziegen angewandt wird.

Diese Tiere eignen sich besonders zu Versuchen über den Stoffwechsel während der Laktationszeit. Nun haben aber Ziegen häufig die Angewohnheit des Selbstabsaugens der Milch. Um dieser für Stoffwechselversuche natürlich höchst unangenehmen Eigentümlichkeit der Ziegen zu begegnen, hat Berger[2]) einen Mantel konstruiert, der aus Sacktuch oder Drellstoff gefertigt, den Tieren in der durch nebenstehende Abbildung (Fig. 19) hinlänglich erläuterten Weise angelegt wird. Derselbe dient zugleich in der heißen Jahreszeit als Schutzmittel gegen die Fliegenplage.

Stände für Rindvieh.

Der erste in der Literatur beschriebene Stoffwechsel-Stall für Rindvieh kam auf der landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Weende bei Göttingen[3]) in Anwendung. Jedes Tier hatte in ihm seinen besonderen Stand und seine be-

---

1) Modifikation des Apparates zur getrennten Auffangung von Kot und Harn bei kleineren weiblichen Tieren (Ziegen und Schafen). Zeitschrift für Biologie, Bd. LII. 1908. S. 83.

2) Berger: Mantel für Ziegen gegen Selbstaussaugen des Euters. Pflügers Archiv, Bd. 120. 1907. S. 405.

3) Henneberg und Stohmann, Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer, Bd. I, S. 19, 1860 u. Bd. II, S. 21, 1864.

sondere Krippe, die zum Verstellen nach oben und unten, nach vorn und hinten eingerichtet war, um den Größenverhältnissen des jedesmaligen Versuchstieres angepaßt werden zu können. Der gußeiserne Futtertrog war in eine starke eichene Bohle eingelassen und mit einem trichterförmigen Aufsatz versehen, von welchem alle hängen gebliebenen oder von den Tieren aufgewühlten Futterbestandteile in den Trog zurückfielen. Der Fußboden bestand aus Asphalt und fiel nach einer in der Mittellinie etwas nach hinten

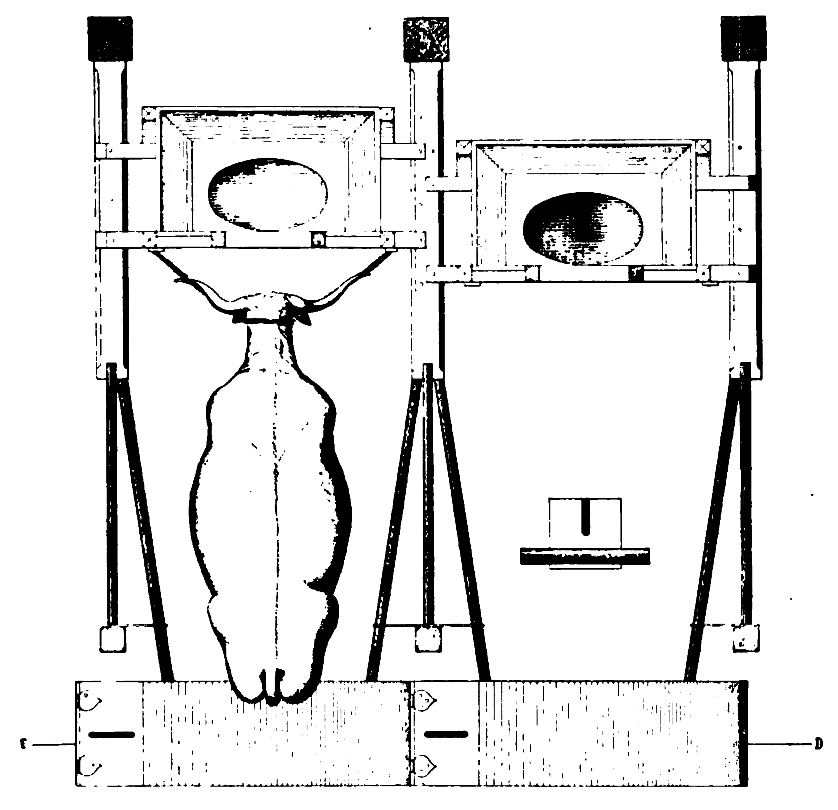


Fig. 20.
Ochsenstall nach Grouven.

gelegenen Zisterne ab. Diese war durch ein kupfernes Gitter gedeckt und durch ein unter dem Asphaltboden durchgeführtes Rohr mit einem zweiten, in der Nähe der Stallwand eingelassenen Steintroge verbunden. Letzterer war mit einer eisernen Klappe verschlossen und enthielt einen Zinkkasten zum Sammeln des Harnes. Unmittelbar hinter jedem Stande verlief eine ausgemauerte Gosse, in deren Boden ein Zinkkasten zum Auffangen des Kotes versenkt war.

Trotz dieser Vorrichtungen war das Auffangen von Harn und Kot keineswegs absolut quantitativ, so daß Henneberg und seine Mitarbeiter ihre Zuflucht zu recht unsicheren Korrekturen nehmen mußten.

Noch weniger befriedigen können in dieser Beziehung die ersten Einrichtungen auf der landwirtschaftlichen Versuchsstation in Möckern, die allerdings zunächst im wesentlichen Untersuchungen über die Milchproduktion dienten [1]).

Ungleich vollkommener und in allen wesentlichen Punkten auch heute noch mustergültig sind die Stallungen, welche Grouven [2]) in dem umfangreichen Werke über seine Fütterungsversuche beschrieben hat. Der Bau dieser Stallungen begann bereits im Jahre 1860. Die Anforderungen, welche Grouven bei dem Bau seines Stalles leiteten, faßt er in sechs Fundamentalsätze zusammen, welche uns so wichtig erscheinen, daß wir sie wortgetreu an dieser Stelle wiedergeben wollen:

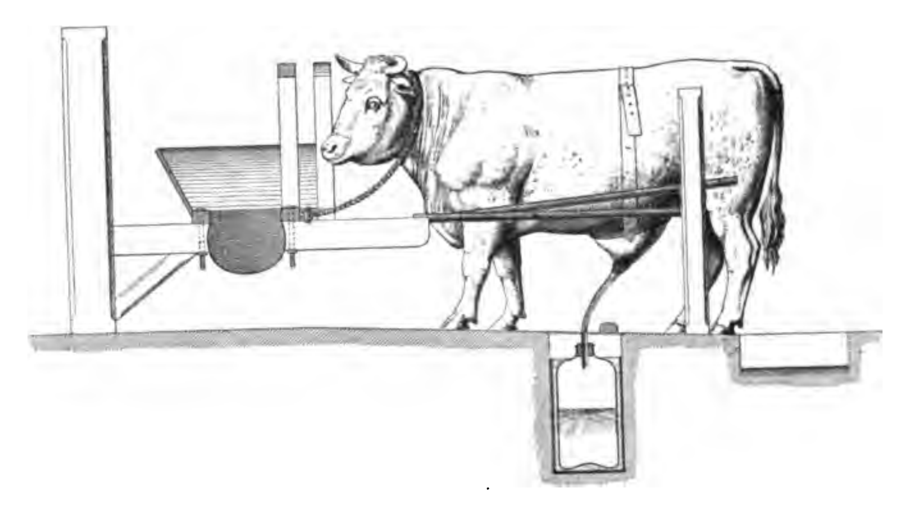


Fig. 21.
Ochsenstall nach Grouven.

1. „Völlig streuloser Stand. Einstreu irgendwelcher Art durfte niemals vorkommen. Denn von der Strohstreu hätten die Tiere unkontrollierbare Mengen fressen können; bei Sandstreu war die nötige Reinlichkeit nicht möglich.
2. Vollständige Aufsammlung des Harnes, so daß derselbe weder Verlust durch Verspritzen und Verdunstung erleiden, noch durch irgend was verunreinigt werden konnte.
3. Das gleiche mußte bei der Kotsammlung erreicht werden. Außerdem durften die Ochsen niemals in die Lage geraten, ihren Kot mit den Hinterfüßen zu zertreten, oder gar sich in ihn hineinlegen zu können.
4. Der Futtertrog mußte ringsum nahbar sein, also an keiner Wand des Stalles anlehnen. Er mußte die Tiere hindern, beim Fressen Futter daraus herauszuwerfen. Endlich durfte er nicht von Holz sein.

1) Versuche über den Einfluß der Ernährung auf die Milchproduktion. Die Landwirtschaftl. Versuchsstationen Bd. 12, 1869.

2) Grouven, l. c.

5. Der Stand der Ochsen mußte Einrichtungen haben, die es ohne Umbauten erlaubten, ihn gleichwohl für ganz große, als auch ganz kleine Ochsen bequem zu gebrauchen.
6. Der ganze Stallraum mußte sich durch gute Öfen im Winter auf bestimmter Temperatur Tag und Nacht erhalten lassen".

Wie ist nun Grouven diesen von ihm selbst erhobenen Forderungen gerecht geworden?

Die Figuren 20 und 21 geben wohl am besten einen Überblick über die Anordnung der Stallungen, so daß nachstehende Erläuterungen genügen mögen.

Der Boden bestand aus einer Zementunterlage, die mit gebrannten Tonplatten belegt war. Auf diesem Boden trat niemals ein Wundliegen der Tiere ein.

Zum Auffangen des Harnes diente der oben beschriebene Harntrichter. (Fig. 10. S. 18.) Hier sei nur eine kleine Vorrichtung beschrieben, welche von Grouven angebracht worden ist, um zu vermeiden, daß die Ochsen beim Aufstehen aus der liegenden Stellung sich in den Trichterschlauch verwickeln und ihn so zerreißen. Er befestigte einfach quer über den hinteren Teil des massiven eisernen Deckels, der die Harnflasche überdeckte, ein Holzklötzchen. Über dieses hätte das Tier seine Hinterbeine legen müssen, wenn es mit dem Harnschlauch in Berührung kommen sollte. In dieser Lage schmerzen den Tieren aber die Beine, so daß sie sie beim Niederlegen nur bis an das Holzklötzchen heranbringen. Dieser kleine Kunstgriff erwies sich als außerordentlich praktisch. Die von Grouven benutzten Harnflaschen hatten nur 10 l Inhalt, doch weist Grouven darauf hin, daß sie bei Mastversuchen gewiß dreifach so groß sein müssen, um den gesamten Tagesharn zu fassen.

Hinter dem Stand verlief eine etwa 16 cm tiefe, 47 cm breite kantige Rinne zum Auffangen des Kotes. In eine solche treten die Tiere nicht mit den Hinterbeinen hinein. Da der Futtertrog auf Leisten verschieblich hergerichtet war, konnte die Entfernung zwischen Trog und Rinne stets derartig der Länge des Tieres angepaßt werden, daß dasselbe mit seinen Hinterfüßen nah am Rand der Rinne stand. Um schließlich zu verhindern, daß die Ochsen beim Kotlassen sich mit dem Hinterteil zur Seite wendeten, und so ihren Stand verunreinigten, wurde, wie Abbildung 20 zeigt, der hintere Teil des Standes durch zwei nach hinten konvergierende Holzstangen eingeengt.

Die Rinne selbst war ebenfalls mit glasierten Tonplatten ausgelegt und hatte eine Neigung nach der einen Seite hin. Dort befand sich der Kotkasten, in dem der Kot eines jeden Tages gesammelt wurde. Dieser Kasten war aus schwerem Kupferblech gefertigt und wog leer etwa 12½ kg. Er besaß auf seinem massiven Deckel eine Handhabe, um ihn aus der Senke herauszuheben und ihn auf- oder zuzuklappen. Der Kasten faßte ungefähr 17½ kg Kot, ein unter gewöhnlichen Verhältnissen für den Tag völlig ausreichender Rauminhalt.

Nach jeder Kotentleerung wurde der Kot mittels eines krummen Spatens in den Kasten hineingekratzt und dann der Deckel desselben geschlossen, um einen Wasserverlust zu verhindern.

Kühn[1]), der zu seinen späteren Versuchen sich einer ähnlichen Anordnung zum Auffangen des Kotes bediente, weist darauf hin, daß es ihm und seinen Mitarbeitern trotz aller Sorgfalt nicht möglich war, den Kot quantitativ in den Kasten zu bringen. Es blieb von jeder Kotentleerung ein geringes Quantum auf der Oberfläche der Rinne bezw. dem angrenzenden Teile des Stalles haften. Aus diesem Grunde hat Kühn stets am Beginne der Versuche den Stand und die Kotrinne vollkommen rein waschen lassen, diese Waschung am Ende des Versuches wiederholt und das so gewonnene Waschwasser zur Trockne eingedampft.

Grouven benutzte Futterkästen aus starkem Zinkblech. Der eine, größere, diente für die tägliche Strohhäckselration, der andere für das Beifutter. Das Troggestell war aus starkem Eichenholz und, wie bereits erwähnt, leicht nach vorwärts und rückwärts zu verschieben. Um aus dem Troge zu fressen, mußte der Ochse seinen Kopf durch ein ziemlich enges Gestell stecken. Dadurch wurde eine Verzettelung des Futters verhindert, da das Maul des Tieres leer wurde, bevor es den Kopf durch die enge Öffnung zurückgezogen hatte.

Fig. 22.
Vorrichtung zum Sammeln des Harns und Kots im Respirationskasten von Kellner.

Die Versuche von Grouven sind unseres Wissens die ersten, bei denen ein Respirationsapparat für die Untersuchung des Stoffwechsels der Wiederkäuer konstruiert wurde. Derselbe ist dem Pettenkoferschen Apparate ähnlich, doch unterscheidet er sich in mancherlei Punkten von dem letzteren, wie er denn auch bereits seit $1^1/_2$ Jahren im Bau begriffen war, bevor der Apparat Pettenkofers veröffentlicht wurde. Doch können wir auf die Einrichtung dieses sowie der späteren derartigen Apparate hier nicht näher eingehen, da die Methodik der Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels einem anderen Abschnitte dieses Werkes vorbehalten ist. Nur insofern glauben wir im Rahmen unseres Themas der Erwähnung

1) Kühn, Fleischer und Striedter, Versuche über die Ausnutzung des blühenden Rotklees als Grünfutter und als Heu. Die Landwirtschaftlichen Versuchsstationen Bd. 11, S. 182, 1869.

derartiger Apparate nicht entbehren zu können, als sie mit besonderen Einrichtungen für das Auffangen von Harn und Kot oder die Zufuhr von Futter verbunden sind. So hatten wir bereits erwähnt, daß Grouven zuerst im Respirationskasten einen Kotbeutel bei Ochsen zur Anwendung brachte.

In diesem Sinne bietet der von Henneberg[1]) beschriebene Weender Respirationskasten wenig Neuerungen. Bemerkt sei, daß der Stand der Tiere so gewählt ist, daß der Kot direkt in einen Kotkasten hineinfallen kann.

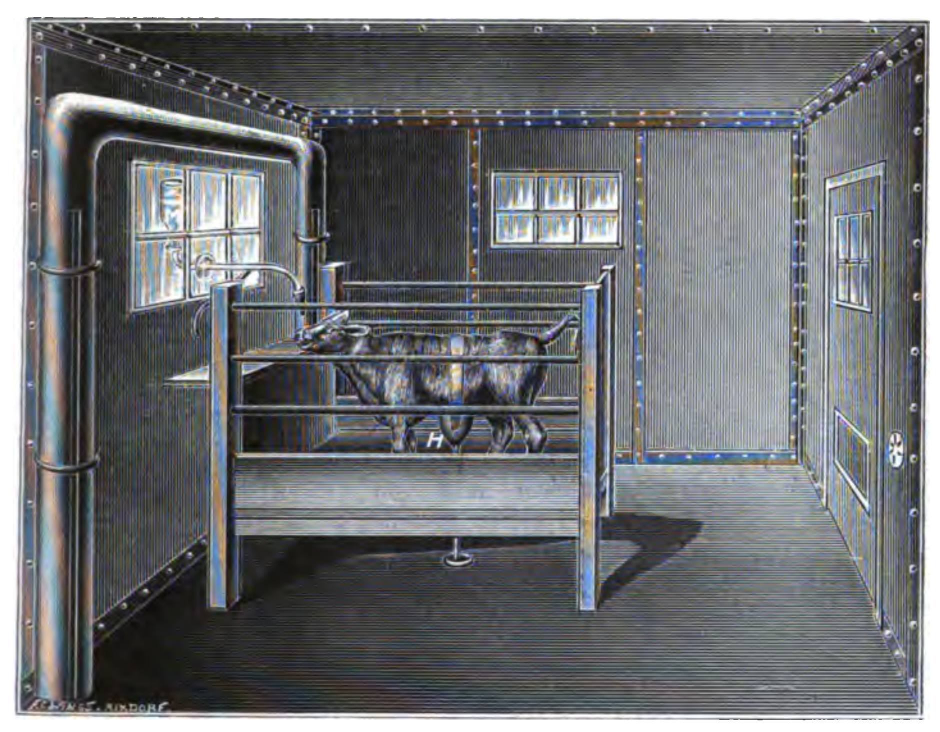


Fig. 23.
Vorrichtung für Saugkalb nach Soxhlet. M. Milchbehälter, H. Harntrichter mit Abfluß.

Der Respirationskasten, welchen Kellner[2]) bei seinen so überaus wertvollen zahlreichen Respirationsversuchen benutzte, schließt sich im wesentlichen an den Apparat von Henneberg an. Erwähnt sei auch hier die Einrichtung zum Auffangen des Kotes. Hinter dem Stande des Tieres ist (Fig. 22) eine 32 cm breite Rinne (P) vorgesehen, welche durch einen schweren eisernen Deckel geschlossen werden kann. In dieser Rinne, die während des Versuches offen gehalten wird, befindet sich ein genau eingepaßter Schiebekasten, der auf Rollen läuft und durch eine seitliche Öffnung hineingeschoben

---

1) Neue Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. Göttingen 1870.

2) Fütterungs- und Respirationsversuche mit volljährigen Ochsen. Die Landwirtschaftlichen Versuchsstationen Bd. 44, S. 257, 1894.

und herausgezogen werden kann. Auch die Tiefstellung des Futterkastens (Q) erscheint erwähnenswert.

Sehr ingeniös ist die Saugvorrichtung, welche Soxhlet[1]) bei seinen Versuchen an Kälbern verwandte. (Fig. 23.) Der eigentliche Saugapparat befindet sich im Inneren des Kastens, und das Tier kann ihn nur erreichen, wenn ein Teil der Vorderwand des Zwangsstalles umgeklappt wird. Die Milchflasche ist außerhalb des Kastens angebracht.

Die komplizierte Einrichtung von Hagemann zur Auffangung von Harn und Kot (s. S. 22) macht weitere Einrichtungen des Stalles für diese Zwecke unnötig. Hagemann hat den Boden mit Eichenbohlen belegt, damit die Tiere weniger kalt liegen und beim Aufstehen nicht straucheln.

Hiermit glauben wir die wichtigsten Formen der Versuchsställe für Rindvieh beschrieben zu haben. Alle späteren Konstruktionen schließen sich mit geringen Modifikationen an die alten bewährten Methoden an. Am meisten gebräuchlich sind die Einrichtungen, welche einen zementierten, möglichst fugenfreien Boden haben mit Senkung nach der Mitte des Stalles zu einem Abflußrohr, das der Röhre des Harntrichters zum Durchtritte dient. Hinter dem Stande befindet sich die Kotrinne mit dem versenkten Kotkasten. Auch Zuntz ist bei der Einrichtung seines neuen Institutes diesem Muster gefolgt.

Pferdeställe.

Bezüglich der Versuchsstallungen für Pferde können wir uns kurz fassen, da ihre Einrichtungen in allen wesentlichen Punkten denen für Rindvieh gleichen.

Dieses gilt im wesentlichen auch von den Pferdeständen, welche E. Wolff[2]) in Hohenheim bei seinen grundlegenden Versuchen verwandte. Einige Modifikationen seien erwähnt.

Neben den Krippen waren Seitentische angebracht, die einen Überzug aus Eisenblech besaßen. Sie dienten zum Auffangen etwa verzettelten Futters. Zum Sammeln des Harnes bediente sich Wolff ebenfalls eines Harntrichters, der eine etwas andere, mehr bauchige Form besaß als der oben beschriebene und abgebildete. Auf Kotbeutel hat Wolff verzichtet. Der Kot fiel vielmehr direkt in einen länglich viereckigen Blechkasten, der, hinter dem Pferde aufgestellt, fast die ganze Breite des Standes einnahm. Durch passend angebrachte Querstangen wurde das Pferd daran verhindert, so weit zurückzutreten, daß es mit den Hinterfüßen den Kotkasten berühren oder verschieben konnte. Die Querstangen und der Blechkasten konnten jederzeit leicht entfernt werden, wenn das Pferd ein- oder ausgestallt werden sollte. Um den Kot quantitativ in den Kasten gleiten zu lassen, verwandte Wolff eine Kotschürze, ähnlich derjenigen, welche, wie oben beschrieben, von Hagemann bei Kühen zur Anwendung gekommen ist. Sie war etwa 1 m breit, aus Segeltuch gefertigt und am unteren Ende durch eine dünne Eisenstange beschwert und nach abwärts direkt in den Kotkasten gezogen. Durch bis an die Decke des Stalles gezogene Schnüre

1) Untersuchungen über den Stoffwechsel des Saugkalbes. Österreichisches Landwirtschaftliches Wochenblatt. Jahrgang 4, 1878, S. 290.

2) E. Wolff, Grundlagen für die rationelle Fütterung des Pferdes. Berlin 1885 bei Paul Parey.

wurde der Kotfänger in der Schwebe gehalten. Am Hinterteil des Tieres war er durch ein passendes Geschirr befestigt.

Figur 24 zeigt uns die Einrichtung der Pferdestallungen des „Laboratoire de recherches de la compagnie générale des voitures à Paris.[1])

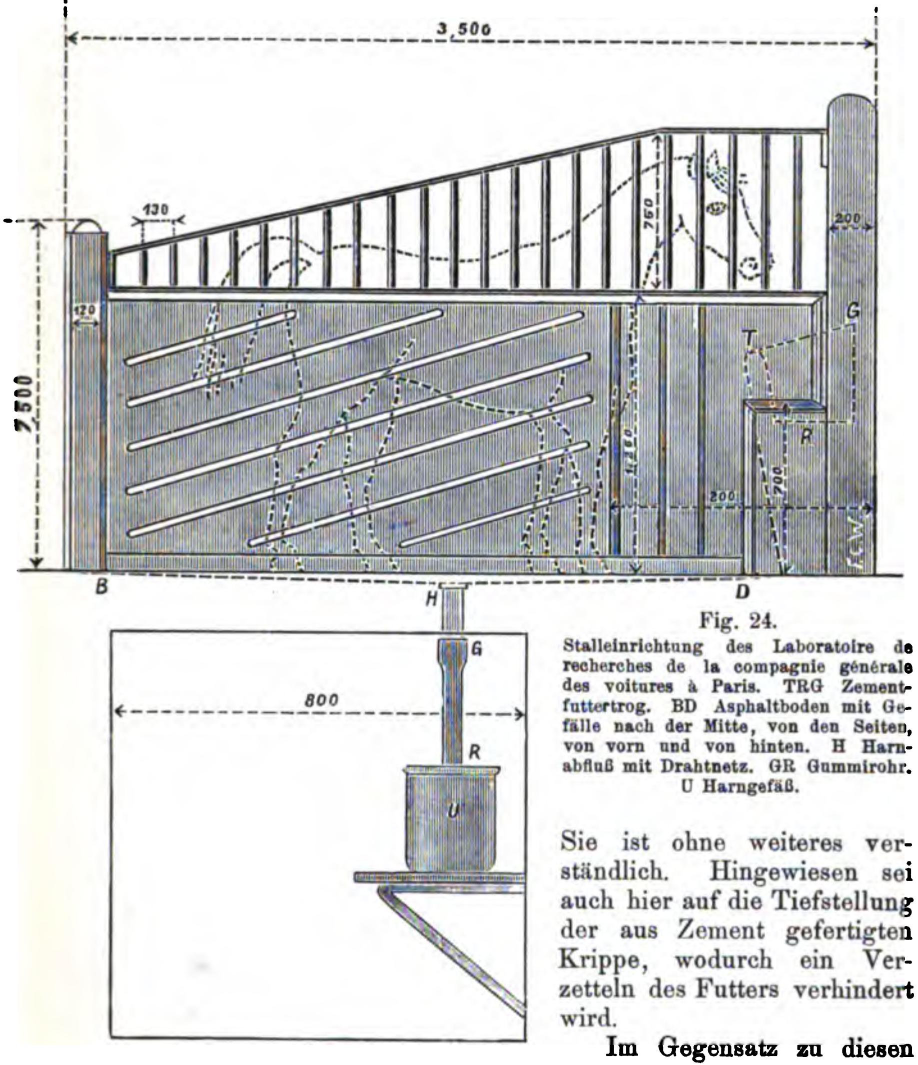


Fig. 24.

Stalleinrichtung des Laboratoire de recherches de la compagnie générale des voitures à Paris. TRG Zementfuttertrog. BD Asphaltboden mit Gefälle nach der Mitte, von den Seiten, von vorn und von hinten. H Harnabfluß mit Drahtnetz. GR Gummirohr. U Harngefäß.

Sie ist ohne weiteres verständlich. Hingewiesen sei auch hier auf die Tiefstellung der aus Zement gefertigten Krippe, wodurch ein Verzetteln des Futters verhindert wird.

Im Gegensatz zu diesen Einrichtungen wurde bei den Versuchen, welche von Zuntz in Gemeinschaft mit C. Lehmann, Hagemann und Frentzel angestellt wurden, im Stalle ein Kotbeutel, beim Arbeiten auf der Tretbahn eine Kotschürze verwandt.

1) Vingt années d'expériences sur l'alimentation du cheval de trait par Grandeau und Alekan. Paris 1904. L. Courtier 43 Rue de Dunkerque. S. 65.

Stoffwechselkäfige für Vögel.

Vögel, speziell Hühner und Gänse, bieten für Stoffwechselversuche den Vorteil, daß man sie in der von den Mästern geübten Weise stopfen (nudeln) kann. Man vermag ihnen auf diese Weise quantitativ jede beliebige, auch schlecht schmeckende Nahrung beizubringen, um so eher, als diese Tiere im Gegensatz zu den Raubvögeln nicht erbrechen. Für viele Zwecke dürften sich die von den Geflügelmästern zum Nudeln verwendeten Maschinen gut eignen, weil sie es gestatten, breiige Massen verlustlos einzustopfen. Eine gute derartige Maschine liefert der Mechaniker der unter Leitung von Tangl stehenden landwirtschaftlichen Versuchsstation in Budapest.

Wenn man bei Stoffwechselversuchen an Vögeln die aus der Kloake entleerten Exkremente nicht trennen will, ist ihr Auffangen nicht mit großen Schwierigkeiten verbunden. So hat Voit[1]) Tauben während Monate langer Versuchsdauer einfach auf eine geriefte Stange gesetzt und dieselben oberhalb mittels zweier, an den Wurzeln der Flügel befestigter Schnüre angebunden. Gänse hängte er in weitmaschige Netze ein, welche die Kloake frei ließen. Die Exkrete wurden auf ein schief gestelltes Weißblech entleert, von wo sie in eine Porzellanschale gelangten. Käfige wurden benutzt von I. Forster[2]) bei Tauben, von v. Knieriem[3]) und Hans Meyer[4]) bei Hühnern. Diese Käfige waren so eingerichtet, daß sowohl der Hals der Tiere als auch die hintere Partie des Körpers mit der Kloake herausragten.

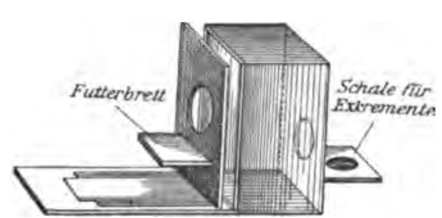


Fig. 25.
Stoffwechselkäfig für Hühner nach Hans Meyer.

Die Exkrete fielen so einfach in eine Porzellanschale herab. Die Käfige waren so eng gewählt, daß die Tiere sich in denselben gar nicht bewegen konnten. Trotzdem hielten sie sich monatelang völlig gesund. Meyer hat durch eine Schiebevorrichtung die Käfige der Größe verschiedener Hühner angepaßt. Wir verdanken der Liebenswürdigkeit von Herrn Professor Hans Meyer nebenstehende Zeichnung. (Fig. 25.)

Sobald die Versuchsbedingungen eine Trennung von Harn und Kot erfordern, bedarf es recht umfangreicher und schwieriger Operationen, durch welche Harnleiter und Mastdarm vor ihrer Vereinigung getrennt und der Mastdarm durch einen Anus praeternaturalis ins Freie geleitet wird.

Solche Operationen sind im zootechnischen Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin von Völtz an Hühnern mit Erfolg ausgeführt worden. Seine Technik ist von Paraschtschuk[5]) eingehend beschrieben. Es wurde dabei folgendermaßen zu Werke gegangen:

Etwa 2 cm oberhalb der Kloakenöffnung, also oberhalb der Einmündung der Ureteren wird durch einen 2 cm langen, nach dem Brustbein zu geführten

1) Hermanns Handbuch der Physiologie. Bd. VI, 1, S. 26.
2) Zeitschrift f. Biologie. Bd. XII, S. 454, 1876.
3) Ebenda. Bd. XIII, S. 36, 1877.
4) Inaugural-Dissert. Königsberg 1877.
5) Journal f. Landwirtschaft. Bd. L, S. 15, 1902.

Schnitt die Bauchhöhle des Tieres eröffnet, der Mastdarm mit einem stumpfen Haken hervorgeholt, unterbunden und oberhalb der Unterbindungsstelle in das Peritoneum eingenäht. Hierbei drängt man sich zweckmäßig den Mastdarm durch einen in die Kloake eingeführten Glasstab entgegen. Dann wird der Darm geöffnet, mit einem nach oben eingeschobenen Wattebausch etwa nachrückender Kot zurückgehalten und die Ränder der Darmwandung mit den Wundrändern und den Bauchdecken vernäht.

In der ersten Zeit nach der Operation erwies es sich als notwendig, den Darm häufiger durch Ausspritzen mit physiologischer Kochsalzlösung



Fig. 26.
Hahn mit Harn- und Kotbeutel nach Völtz.

zu entleeren, da die Peristaltik anfangs zu schwach ist, um den Kot herauszubefördern.

Ferner muß man den Anus praeternaturalis täglich bougieren, um eine Narbenschrumpfung zu vermeiden.

Für den Versuch wurden die Tiere von Völtz mit Kot- und Harnbeuteln versehen. Wir verdanken dem freundlichen Entgegenkommen von Herrn Völtz die Abbildungen Fig. 26 und 27 und die folgende Erklärung:

Zur Befestigung des Kot- und Harnbeutels ist ein verzinkter Draht zu benutzen, den man entsprechend den anatomischen Verhältnissen des Tieres biegt und lötet. Der obere, die Kloake umgebende Drahtring wird fixiert unterhalb der bügelförmigen Sitzbeine des Huhnes, die er vollständig umgibt. Der Gurt ist in seinem mittleren Teil, der den Thorax bedeckt, breit

(Fig. 26), wird dann beiderseits zweiteilig (Fig. 26 E und F), um die Oberarme durch den Schlitz zu führen und also die Flügel frei zu lassen. Die Gurtenden werden auf dem Rücken des Tieres festgeschnallt. Der hintere Gurt (Fig. 26 F) trägt die Schnallen (Fig. 26 C und D), an denen Harnbeutel (Fig. 26 und 27 A) und Kotbeutel (Fig. 26 und 27 B) durch Riemen (Fig. 26 und 27 C und D) befestigt werden. Auch der Kotbeutel wird getragen durch einen Drahtring, der den Anus praeternaturalis umfängt und auf den unteren Rand des beschriebenen Drahtringes, welcher die Kloake umgibt und den Harnbeutel trägt, nach genauer Anpassung aufgelötet ist. (Eine ausführliche Beschreibung hat Völtz in Abderhaldens Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden gegeben).

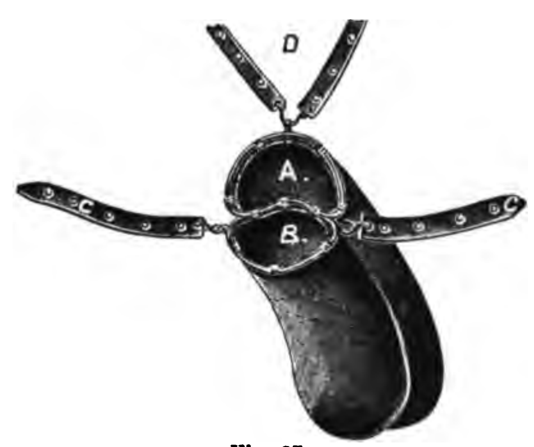


Fig. 27.
Harn- und Kotbeutel für Hühner nach Völtz.

Vorrichtungen bei Stoffwechselversuchen an Fischen.

In unserem Institut werden zahlreiche Stoffwechselversuche an Fischen ausgeführt. Soweit diese den respiratorischen Stoffwechsel zum Gegenstande haben, gehört die Beschreibung der Apparatur an eine andere Stelle dieses Werkes. Für Ausnutzungs- und Bilanzversuche hat Knauthe Kotbeutel bei diesen Tieren benutzt. Doch wurden die Fische dadurch so geniert, daß man von der Verwendung derartiger Apparate Abstand nehmen mußte. Es bleibt somit nur übrig, den Kot möglichst häufig und bald nach der Entleerung quantitativ aus dem Wasser herauszufischen, und im übrigen die Veränderung des Wassers am Schlusse des Versuches analytisch zu ermitteln. Die Aquarien müssen bei solchen Versuchen, da ein Durchfluß von Wasser nicht angängig ist, besonders energisch durchlüftet werden. Alle 24 Stunden wird das Wasser vollständig erneuert.

Gesondertes Auffangen von Harn und Kot beim Menschen.

Die zahlreichen Einrichtungen, welche im vorgehenden besprochen wurden, verfolgen im wesentlichen den Zweck, ein gesondertes verlustloses Auffangen von Harn und Kot zu ermöglichen und sicher zu gewährleisten. Beim Menschen bedarf es derartiger Vorrichtungen nicht. Immerhin ist auch hier das gesonderte Auffangen von Harn und Kot nicht ganz einfach, da bei der Defäkation durch den Druck der Bauchpresse auch die Harnblase leicht entleert wird. Es ist daher empfehlenswert, daß der im Stoffwechselversuch befindliche Mensch unmittelbar vor dem Stuhlgang Harn läßt. Doch genügt dies in den meisten Fällen noch nicht. Er muß auch

während des Stuhlganges darauf bedacht sein, etwaige Tropfen Harns, welche, besonders wenn eine gewisse Obstipation besteht, stets noch mit ausgepreßt werden, in einem vorgehaltenen Bechergläschen aufzufangen. Denn man muß bedenken, daß wenige Tropfen Harns dem Kote hinzugefügt, genügen würden, ein ganz falsches Bild der Ausnutzung des Stickstoffs zu geben. Kleine Fehler können auch durch Wegwerfen des zum Abwischen des Kotes benutzten Papieres entstehen. Es empfiehlt sich, ein Stückchen Badeschwamm zu benutzen, dieses sorgfältig auszuwaschen und das Waschwasser einzudampfen.

Besonderer Maßnahmen zum quantitativen Sammeln von Harn und Kot bedarf es bei Stoffwechselversuchen, die am Säugling ausgeführt werden. Apparate, welche wenigstens für den Säugling männlichen Geschlechts hinreichende Gewähr für das genaue Trennen und Auffangen der Exkremente bieten, sind zuerst von Bendix[1]) angegeben, später von ihm und Finkelstein[2]) verbessert worden.

Diese Apparatur, die sich in zahlreichen Versuchen wohl bewährt hat, sei im folgenden kurz beschrieben.

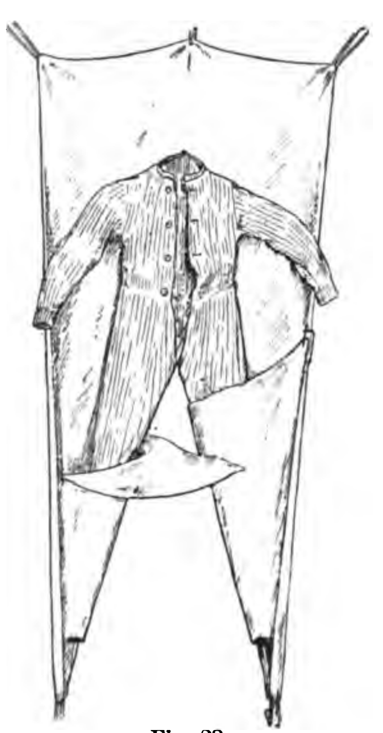


Fig. 28.
Vorrichtung zur Fixierung von Säuglingen nach Bendix-Finkelstein.

Das Kind wurde auf einem Leinentuch gelagert, das, wie es Figur 28 zeigt, sich für die Aufnahme der Beine gabelt. Auf das Leinentuch ist eine Hemdhose aufgenäht, welche eine Analöffnung und einen Spalt zum Hinausführen des Penis besitzt. In diese Kombination wird nun das Kind hineingesteckt. An einem hosenträgerartigen Leibgurt (cf. Fig. 29) wird nun der Urinrezipient (Fig. 30) angeknöpft. Er besteht aus einer gläsernen Ampulle, über deren Rand ein Gummiansatz mit Polsterring gezogen wird. Die Ampulle nimmt Penis und Scrotum des Säuglings auf. Der Harn läuft in eine passend aufgestellte Harnflasche ab. Der Kot wird einfach in einer untergestellten Schale, der sich für stark diarrhoische Stühle eine Blechplatte als Schirm aufklemmen läßt, aufgefangen. Die Apparatur wird durch die Firma Ernst Lentz, Berlin, Birkenstr. 28 hergestellt.

Einfacher, aber immerhin wohl brauchbar ist auch die von W. Freund[3]) angegebene Methode.

1) B. Bendix: Jahrbuch für Kinderheilkunde 1896 Bd. XLIII, S. 23.
2) Derselbe und Finkelstein: Ein Apparat für Sfoffwechseluntersuchungen am Säugling. Deutsche med. Wochenschrift 1900 Heft 42.
3) W. Freund: Jahrbuch für Kinderheilkunde 1898 Bd. XLVIII, S. 137.

Der Stoffwechselversuch.

Nachdem das Tier, an dem der Versuch ausgeführt werden soll, in der besprochenen Weise in einem Käfig oder Stall untergebracht ist, und so für verlustlose Nahrungszufuhr und das quantitative Auffangen von Harn und Kot gesorgt ist, kann mit dem eigentlichen Stoffwechselversuche begonnen werden.

Es lassen sich natürlich für die Anordnung des Versuches allgemein gültige Regeln nicht aufstellen. Es wird vielfach Sache des Experimentators sein, die im folgenden empfohlenen Vorschriften seiner speziellen Frage-



Fig. 29.
Lagerung des Säuglings im Stoffwechselversuch.

stellung entsprechend zu modifizieren. Im allgemeinen aber wird man sich den praktisch bewährten Versuchsmethoden anschließen müssen.

Man teilt den Versuch gewöhnlich in drei Abschnitte. In dem ersten läßt man sich das Tier den veränderten Lebensbedingungen anpassen. Dies ist die sogenannte Vorperiode. Man sucht in dieser meist Stickstoff- und Körpergleichgewicht zu erreichen. Es gewährt dies den Vorteil, die Resultate des Hauptversuches eindeutiger zu gestalten. Natürlich wird dies Desiderat in manchen Fällen nicht erfüllbar sein. Unbedingt notwendig ist es für den einwandsfreien Stoffwechselversuch nicht. Doch erscheint es wohl zweckmäßiger, als, wie dies auch zuweilen geübt wird, vom Hungerzustande auszugehen, weil die Stoffwechselvorgänge bei

und nach dem Hunger ihre Besonderheiten haben und namentlich große Differenzen individueller Art zeigen.

Auf die Vorperiode läßt man die sogenannte Hauptperiode, den eigentlichen Stoffwechselversuch folgen. Meist schließt man dann eine Nachperiode an, welche in ihrer Anordnung der Vorperiode entspricht, um eine etwaige Nachwirkung des Hauptversuches festzustellen. Gerade in dieser Nachperiode haben sich oft erst die wesentlichen Resultate des Versuches gezeigt.

Als wichtigste Regel muß betont werden, daß die Perioden nicht zu kurz sein sollen. Ein zu kurzer Versuch hat häufig zu den schwerwiegendsten Irrtümern geführt. Es sei hier nur daran erinnert, daß wir z. B. über die Wirkung des Alkohols auf den Stoffwechsel früher ganz falsche Anschauungen hatten, indem wir vorübergehende Veränderungen der Stoffwechselvorgänge als charakteristisch ansahen.

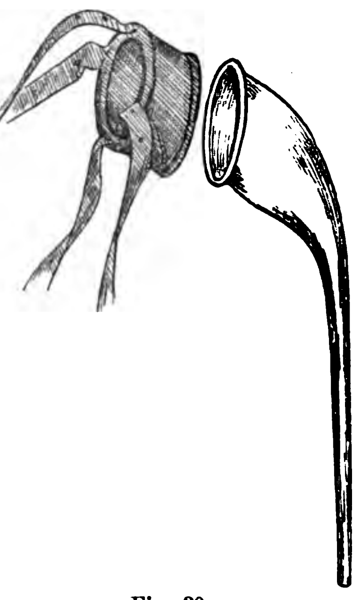


Fig. 30.
Harnrezipient mit Befestigungsring für männliche Säuglinge.

Man muß auch bedenken, daß sich der Organismus eines Tieres nicht unmittelbar einem veränderten Ernährungsregime anpaßt. Wir finden vielmehr häufig während einer Versuchsperiode die Nachwirkungen der vorhergehenden Lebensverhältnisse deutlich ausgeprägt. Für den ersten Tag eines Regimewechsels gilt dies als Regel.

Für den Menschen und den Karnivoren mag ein Minimum von 5 Tagen pro Periode genügen. Für die Herbivoren sind bedeutend längere Perioden erforderlich.

Dies hängt hauptsächlich zusammen mit den Verhältnissen der Kotbildung.

Kotabgrenzung.

Der Zeitpunkt, an welchem der einer bestimmten Nahrung entsprechende Kot zutage gefördert wird, ist je nach der Art des Tieres und der Ernährung desselben außerordentlich wechselnd. Selbst beim Fleischfresser dauert es etwa 24 Stunden, ehe die Verdauung einer bestimmten Nahrung beendet ist. Die Ausscheidung des zugehörigen Kotes läßt oft noch viel länger auf sich warten. Beim Menschen erfordert die Kotausscheidung meist 2—3, beim Pflanzenfresser 5—7 Tage.

Es ist daher empfehlenswert, den Kot, der einer Untersuchungsperiode entspricht, von dem vorher und nachher gelieferten abzugrenzen. Nur bei solchen Individuen, deren Kotentleerung absolut regelmäßig zur selben Stunde täglich erfolgt, mag es zulässig sein, von einer besonderen

Abgrenzung abzusehen, wie dies Neumann[1]) beim Menschen, Pflüger[2]) beim Arbeitshund getan haben. Die Abgrenzung gehört zu den wundesten Punkten der Methodik des Versuches. Schon die zahlreichen angegebenen Mittel sprechen dafür, daß keines so ganz befriedigend ist. Man kann im allgemeinen zwei verschiedene Formen der Abgrenzung unterscheiden. Entweder man benutzt bestimmte Nahrungsmittel, die einen charakteristischen Kot geben, oder man sucht durch Verabreichung gewisser Substanzen, die den Darmkanal glatt passieren, die Abgrenzung des Kotes herbeizuführen. Für die Verwendung der ersteren Gruppe der Abgrenzungsmittel ist natürlich die jeweilige Versuchsanordnung zu berücksichtigen. So liefert z. B. reine Fleischnahrung (Bidder und Schmidt) einen charakteristischen sehr dunklen, pechähnlichen Kot. Aber man muß bedenken, daß eine so stickstoffreiche Substanz einen hohen Eiweißumsatz bedingt, dessen Nachwirkung sich eventuell über mehrere Tage erstrecken wird. Auch bei Milchnahrung (Rubner) wird ein sehr charakteristischer Kot entleert. Dieser ist besonders hart, knollig und von hellgelber Farbe (maiskolbenähnlich). Die Verwendung der Milch als Abgrenzungsmittel ist aber, auch abgesehen von ihrem hohen Stickstoffgehalt, bedenklich, weil viele Individuen die erforderlichen 2—3 Liter Milch nicht vertragen und Verdauungsstörungen bekommen, die den Versuch vollkommen stören können. Weit empfehlenswerter ist Schokolade, die namentlich in Stoffwechselversuchen an Kindern gern und oft verwandt wird. Beim Menschen sind außer den genannten Nahrungsmitteln noch Preißelbeeren (I. Ranke), Blaubeeren (Hultgren und Landergren) und gewisse Gemüse, wie z. B. Karotten, empfohlen worden, deren charakteristisch gefärbte Zellulosereste im Kote wiedererscheinen. Doch müssen recht große Mengen von all diesen Substanzen genommen werden, sonst finden sich über eine größere Strecke Kot verteilt verstreute Residuen derselben, und man weiß nicht, an welcher Stelle man die Abgrenzung vornehmen soll. Alle diese zur Abgrenzung dienenden Nahrungsmittel sind aber nur zu Beginn und am Ende des Gesamtversuches mit einigem Vorteil zu benutzen. Denn ihr Nährwert müßte bei Abgrenzung zwischen einzelnen Perioden des Versuches berücksichtigt werden, was Analysen und mehr oder weniger unzuverlässige Berechnungen und Schätzungen notwendig machen würde.

Empfehlenswerter als die Verwendung von Nahrungsmitteln ist im allgemeinen die Einführung von Stoffen, welche den Darmkanal unverändert verlassen und so zur Abgrenzung des Kotes dienen. Zwischen beiden Gruppen von Abgrenzungsmitteln steht die Verwendung von Knochen beim Hunde (G. Meyer). Knochen stellen ein sehr vorzügliches Abgrenzungsmittel dar, in Gestalt eines weißen, sehr trockenen und stark brüchigen Kotes. Die nicht unerheblichen aus Knochen resorbierten Stickstoffmengen müssen jedoch berücksichtigt werden. Auch soll, um keine Störungen in den Versuch zu bringen, nur soviel Knochen verfüttert werden, wie zur Erzielung einer sicheren Abgrenzung nötig ist (etwa 15—20 gr).

---

1) R. O. Neumann, Experimentelle Beiträge zur Lehre von dem täglichen Nahrungsbedarf der Menschen unter besonderer Berücksichtigung der notwendigen Eiweißmenge. Archiv f. Hygiene Bd. 45, S. 1, 1902.

2) E. Pflüger, Die Quelle der Muskelkraft. Pflügers Archiv Bd. L, S. 98.

Diese Komplikation fällt fort bei der Verwendung von Kieselsäure (Cremer und Neumeyer), die man am besten etwa 6 Stunden nach der letzten oder vor der ersten Mahlzeit einer Periode verabreicht. Etwa 4—5 g sind genügend. Man mischt sie einem zu diesem Zwecke reservierten Bruchteil der Nahrung bei. Diese Form der Abgrenzung scheint uns die beste zu sein und ist jedenfalls weit empfehlenswerter als das Schlucken von Badeschwamm, wie es seinerzeit von Adamkiewicz, oder von Korkstücken, wie es von I. Munk und Salkowski vorgeschlagen wurde. Auch die Verwendung von Karmin gibt recht gute Resultate. Der Kot wird dunkelrot gefärbt, und es erstreckt sich die Abgrenzung meist nur über einen geringen Teil des Kotes. 1 g dürfte genügen. Weniger empfehlenswert scheint uns die Verwendung von fein zerteilter Holz- oder Tierkohle, weil sich die Kohlepartikelchen oft über eine große Strecke des Kotes verteilen. Auch ist bei der dunklen Färbung des Kotes beim reichlich mit Fleisch genährten Hunde die Farbe der Kohle für die Abgrenzung nicht sehr geeignet. Es muß auch in Erwägung gezogen werden, daß Verwendung von Kohle exakte Bestimmungen der Verbrennungswärme im Kote unmöglich macht.

Nach Völtz[1]) eignet sich Kohle sehr gut zur Abgrenzung des Kotes bei Hühnern.

Es sei hier zugleich auf einen kleinen Kunstgriff hingewiesen, welcher in unserem Institut nach dem Vorgange von S. Rosenberg häufig angewandt wird. Gerade für den Abgrenzungskot ist es oft von Wichtigkeit, daß die Entleerung nach angemessener Zeit erfolgt. Der Hund defäziert aber häufig mehrere Tage lang nicht. Man kann nun fast ausnahmslos eine Kotentleerung beim Hunde herbeiführen, wenn man ihm einen 8—10 mm dicken Glasstab in den After einführt. Durch den Reiz des Fremdkörpers auf die Wandungen des Mastdarms wird die Defäkation angeregt, der Glasstab zuerst herausgepreßt, während der Kot nachfolgt.

Weit schwieriger als beim Hunde gestaltet sich die Abgrenzung des Kotes beim Menschen, auch wenn wir Substanzen verwenden, welche den Darmkanal glatt und unverändert passieren. Es liegt das daran, daß bei dem omnivoren Menschen der Darmkanal wesentlich länger ist, als beim karnivoren Hunde, und daher dem Darminhalte weit mehr Gelegenheit zur Durchmischung gegeben ist. Auch ist der menschliche Kot in vielen Fällen nicht so gut geformt und so hart wie der des Hundes. Als ungeeignet hat sich nach unseren Erfahrungen die Kieselsäure, als wenig zuverlässig auch die Verwendung von Kohle erwiesen. Zum mindesten muß man von diesen Substanzen größere Mengen — etwa 6—8 g verwenden, was auch bei Anwendung von Oblaten oder Kapseln nicht sehr angenehm ist. Auch dann ist aber noch die Gefahr des Verschmierens des Abgrenzungsmittels über eine große Strecke Kot eine sehr erhebliche. Besser als Kohlepulver sind gepreßte Tabletten, die z. T. unzerfallen im Kote erscheinen. Empfehlenswert ist die Verwendung von Karmin. Man gibt es am besten in capsulis gelatinosis zu je 0,5 g. 2 solcher Kapseln genügen, um eine gute Kotabgrenzung zu erhalten.

1) Studien über den Stoffwechsel des Haushuhns. Landwirtschaftl. Jahrbücher 1909, S. 553.



In der Erkenntnis der Unzuverlässigkeit der meisten Abgrenzungsmethoden beim Menschen benutzten wir bei unseren Stoffwechselversuchen im Hochgebirge zur Abgrenzung des Kotes Klistiere. Es gelingt auf diese Weise, den Darm sehr gut zu entleeren, wenn man größere Mengen Wassers verwendet. Als Richtschnur diente uns das Auftreten der Reste eines Gemüses, welches zu geeigneter Zeit vorher genossen worden war. Doch ist diese Prozedur keineswegs angenehm. Es waren oft hintereinander vier reichliche Klistiere notwendig, um den gewünschten Effekt zu erzielen. Eine zu einem Stoffwechselversuche gemietete Person wird sich diesen Unannehmlichkeiten kaum in allen Fällen unterziehen.

Beim Hunde sowohl wie beim Menschen ist es für die Abgrenzung wichtig, auch bei der einzelnen Defäkation, welche den Abgrenzungskot enthält, die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Kotbestandteile entleert werden, festzustellen. Beim Hunde kann dies ja höchst einfach durch Beobachtung der Defäkation geschehen. Beim Menschen bedienen wir uns einer ebenso einfachen wie praktischen Vorrichtung. Die Kotentleerung findet auf einem Stuhle statt, dessen Sitzteil in geeigneter Weise ausgeschnitten ist. Unter dem Stuhlsitz ruht auf zwei Leisten ein mit Pergament überspanntes Brett, auf das der Kot entleert wird. Während der Defäkation zieht nun das Versuchsindividuum das mit Pergament überspannte Holzbrett allmählich unter sich fort, so daß der Kot in der Reihe, in welcher er gelassen ist, auf dem Pergamentpapier ausgebreitet ist.

Natürlich führen alle Abgrenzungsmittel nur dann zum Ziel, wenn der Kot nicht breiig oder gar diarrhoisch ist.

Ist es schon beim Menschen schwer, eine sichere Abgrenzung des Kotes zu gewinnen, so hat dies noch größere Schwierigkeiten beim Schweine, wegen des breiigen Kotes, den diese Tiere absondern. Unseres Wissens ist eine Abgrenzung des Kotes beim Schweine bisher nicht versucht worden.

Völlig unmöglich ist es, eine Abgrenzung des Kotes bei den Pflanzenfressern zu erreichen. Welcher Art das Tier auch sei, stets finden sich Abschnitte des Darmkanals, in welchen mehrere Mahlzeiten durcheinander gemischt werden. Einigermaßen wird dieser Übelstand dadurch kompensiert, daß der Kot sehr massig ist, und die täglichen Entleerungen sehr häufig, oft 12 und mehrmal erfolgen. Die Unmöglichkeit der Abgrenzung ist wohl der wesentlichste Grund, welcher den Stoffwechselversuch an Herbivoren so außerordentlich erschwert.

Es bleibt hier kein anderes Mittel, als die Perioden besonders lang zu wählen, um so den durch die Unmöglichkeit der Kotabgrenzung bedingten Fehler möglichst gering zu gestalten. Besonders die Vorperiode muß mindestens so lange fortgesetzt werden, bis man sicher ist, daß keine einem früheren Ernährungsregime angehörigen Reste im Darmkanal mehr vorhanden sind, d. h. mindestens 8 Tage. Bei Kaninchen ist die Möglichkeit gegeben, den Magen und Blinddarm dadurch vom Inhalt zu reinigen, daß man ausschließlich während mehrerer Tage Milch verabreicht, welche die Tiere gern und reichlich aufnehmen. Wenn dann der Kot keine Reste der früheren Nahrung mehr aufweist, genügt 24stündiges Hungern, um einen fast leeren Verdauungskanal zu erzielen.

Harnabgrenzung.

Während wir den Kot stets nur in größeren Perioden abzugrenzen pflegen, wird der Harn gewöhnlich in 24stündigen Pausen abgegrenzt. Es ist dies natürlich willkürlich, man könnte auch 12stündige Perioden wählen, und man hat ja auch in zahlreichen Versuchen den in 1, 2 Stunden usw. abgesonderten Harn für sich aufgefangen. Andrerseits haben aber auch die 24stündigen Perioden der Harnsammlung ihre Berechtigung, weil der Organismus in 24 Stunden einen Kreislauf seines Stoffwechsels durchläuft. Es ist daher auch notwendig, die tägliche Harnabgrenzung stets zu der gleichen Tageszeit vorzunehmen.

Für den Menschen, der nach dem Wunsche des Experimentators zu jeder Zeit seine Blase vollständig entleert, bedarf es in dieser Hinsicht keinerlei Vorkehrungen.

Bei Hunden liegen die Verhältnisse sehr verschieden je nach der Dressur und der guten Gewöhnung des Tieres. Es gibt Hunde, welche in den Stoffwechselkäfig gesetzt, denselben niemals verunreinigen, dagegen Harn und Kot sofort absetzen, sobald sie ins Freie geführt werden. Bei diesen Tieren ist es natürlich leicht, den Harn der täglichen Periode für sich zu gewinnen. Doch bedarf es noch einer besonderen Erziehung der Tiere, die nicht immer zu erreichen ist, um sie an die Harnentleerung in eine untergehaltene Schale zu gewöhnen. Freilich begegnen dem Stoffwechselphysiologen nicht sehr häufig Tiere, die eine so gute Kinderstube durchgemacht haben. Außerdem verderben auch hier böse Beispiele gute Sitten. In den Räumen, in denen mehrere Stoffwechselkäfige für Hunde bei einander stehen, herrscht stets ein gewisser Harngeruch, der beim Hunde ja in so eigentümlicher Weise wiederum zur Entleerung des Harnes anregt. Wir haben diesen Übelstand ganz besonders dann störend empfunden, wenn wir die Hunde auf der Tretbahn Geharbeit verrichten ließen. Da es sich in den meisten Fällen um Stoffwechselhunde handelte, so legten wir bei der Dressur stets den größten Wert darauf, daß niemals auf der Tretbahn Harn gelassen wurde. War aber trotzdem einmal einem Tiere das Malheur passiert, auf der Tretbahn Harn zu verlieren, so mußten durch häufige Waschungen mit Formalin oder einer anderen stark riechenden Substanz alle Spuren des Harnes entfernt werden, wollte man nicht erleben, daß auch die bestdressierten Hunde ihrer guten Gewohnheiten vergaßen. Deswegen ist es auch so schwierig, Hunde im Laboratorium selbst stubenrein zu erziehen.

Daher wird man in den meisten Fällen beim Hunde den Katheterismus ausführen müssen. Männliche Hunde lassen sich schwer katheterisieren. Aus diesem Grunde bevorzugen wir bei Stoffwechselversuchen Hündinnen. Doch ist auch bei weiblichen Tieren diese Manipulation nicht ganz ohne Schwierigkeiten. Das orificium urethrae liegt bei der Hündin ziemlich weit im Innern der Vagina und ist durch einen vorspringenden Schleimhautwulst verdeckt. Da nun die Schleimhaut der Scheide viele Wulste und Falten bildet, ist es für den tastenden Finger oft sehr schwer, die Öffnung der Harnröhre zu finden. Ein zu langes Herumprobieren ist aber für den Verlauf des Versuches keineswegs gleichgültig, da die Tiere erregt oder ermüdet werden. Es ist daher dringend anzuraten, sich eines Spekulums zu bedienen, wie es Fig. 31. zeigt. Dasselbe kann eventuell in verschiedener Größe

gewählt werden. Man führt es geschlossen ein, und spreizt darauf die Branchen auseinander. Bei der Verbreiterung der Scheide werden die sekundären Wülste geglättet und der starke Wulst über dem orificium urethrae stellt sich sofort dem Auge ein, so daß das Einführen des Katheters nunmehr nicht mehr die geringsten Schwierigkeiten macht.

Um das Katheter bei Hündinnen leichter einführen zu können, haben Limpert und Falck[1]) eine kleine Operation angegeben, welche bezweckt, das orificium urethrae externum frei zutage zu legen. Dieselbe besteht darin, daß ein Skalpel in die Scheide der Hündin eingeführt und nach der Mitte des Dammes durchgestochen wird. Hierauf wird die ganze vordere Partie des Dammes in der Richtung der Scheide gespalten. Wenn dieser operative Eingriff gut gelungen, und die geringe Blutung, welche gewöhnlich damit verbunden ist, gestillt ist, liegt die Öffnung der Harnröhre frei, so daß man ohne weiteres mit dem Katheter hineingelangen kann. Um die Wundränder vor dem Zusammenwachsen zu bewahren, haben die Autoren dieselben mit Höllenstein geätzt. Dann vernarben die Wundränder bald.

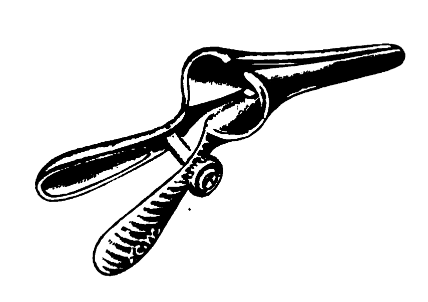


Fig. 31.
Spekulum für Hündinnen.

Diese Operation bietet den Vorteil, daß man ohne Hilfe einer zweiten Person der Hündin leicht das Katheter einführen kann. Man umfaßt dabei den Kopf des Tieres und die linke Seite des Körpers mit dem linken Ellenbogen, ergreift mit der linken Hand die Hinterfüße und führt mit der rechten das Katheter ein. Doch ist dies nur bei geduldigen kleineren Hunden möglich, in anderen Fällen wird man auch nach der Operation die Hilfe eines Dieners in Anspruch nehmen müssen. Notwendig wird die Operation kaum jemals sein, wenn man ein passendes Spekulum zur Verfügung hat, da sich bei einiger Übung mittels dieses Instrumentes das orificium urethrae in fast allen Fällen leicht einstellen läßt. Abgesehen also von vereinzelten Ausnahmefällen, bei ganz kleinen, jungfräulichen Hündinnen, ist diese Operation als unnütz zu verwerfen, weil sie um einer bloßen Bequemlichkeit für den Experimentator willen dem Tiere Schmerzen bereitet.

Hat man das Katheter in die Blase eingeführt, so fließt der Harn aus und muß natürlich ohne jeden Verlust in ein untergehaltenes Gefäß aufgefangen werden. Nach dieser Entleerung der Hauptmenge des Harns müssen aber auch alle Reste desselben quantitativ gewonnen werden, die stets in den Falten der Blasenwandung verbleiben. Wir spülen daher nach jedem Katheterismus die Blase reichlich mit lauwarmem Wasser oder besser verdünnter Borsäurelösung aus, bis die Flüssigkeit vollkommen farblos abfließt.

Man muß bei dem Katheterismus mit einiger Vorsicht zu Werke gehen, um das Eintreten einer Cystitis zu verhindern. Da man sich bei

1) Untersuchungen über die Ausscheidung des Zuckers durch die Nieren nach der Einspritzung desselben ins Blut. Virchows Archiv Bd. IX, S. 56, 1856.

Hündinnen stets weicher Gummikatheter bedient, welche häufiges Auskochen nicht vertragen, ist es empfehlenswert, sie in gut verschließbarem Glasgefäß über Formalinpastillen aufzubewahren. Übrigens erscheint es uns nicht bedenklich, wenn man während eines Stoffwechselversuches auch mehrere Katheter abnutzt. Der Preis ist kein hoher, und 12—14 Auskochungen vertragen sie ganz gut. Vor dem Einführen des Katheters empfiehlt es sich auch, die Scheide mit in Lysol getränkter Watte sorgfältig auszuwischen. Im allgemeinen sind ja die Hunde gegen Blasenentzündungen nicht sehr empfindlich, doch zwingen natürlich stärkere Entzündungen, die mit Fieber und Blutungen einhergehen, zum Abbrechen des Versuches.

Bei anderen Tieren wendet man den Katheterismus meist nicht an. Meißl hat zwar versucht, Schweinen das Katheter einzuführen. Diese Tiere benahmen sich jedoch so ungebärdig und gerieten in eine solche Erregung, daß der Fehler, der hierdurch in den Versuch hineingetragen wurde, größer erschien, als der durch mangelhafte Harnabgrenzung bedingte.

Bei Kaninchen läßt sich der Katheterismus wohl ausführen. Beim Männchen ist die Harnröhre genügend weit, daß man einen dünnen Nélaton-Katheter von ca. 2 mm Durchmesser einführen kann. Für Weibchen benutzt man besser einen dünnen Metallkatheter von ähnlicher Form, wie sie für die weibliche Harnröhre der Menschen in Gebrauch ist.

Bei den großen Herbivoren werden sehr erhebliche Mengen Harns entleert, so daß eine geringe Verschiebung in den täglichen Ausscheidungen hier weniger ins Gewicht fällt. Um so mehr gleichen sich etwaige Fehler aus, als man ja schon aus anderen Gründen, wie oben auseinandergesetzt, genötigt ist, die Versuchsperioden sehr lang zu wählen.

Wenn es auf eine sehr genaue Abgrenzung des Harnes ankommt, ist auch der Umstand zu berücksichtigen, daß sich stets gewisse Mengen von Harnbestandteilen in der Niere und deren Ausführungsgängen, sowie im Blute befinden. Wissen wir doch durch die Untersuchungen von Picard[1]), Gréhant[2]) und anderen, daß der Harnstoffgehalt des Blutes ziemlich erhebliche Schwankungen erfährt. Die Bedeutung dieser Momente läßt sich beim regelmäßig genährten Menschen dadurch dartun, daß man größere Mengen Wasser zu trinken gibt. Danach steigt die stündliche Harnstoffausscheidung recht erheblich, um nach Beendigung der durch die Flüssigkeitszufuhr bedingten Harnflut wieder ebensoviel unter den Durchschnittswert zu sinken. Es wird also durch die Flüssigkeitszufuhr, wie besonders die Versuche von Oppenheim[3]) und von Neumann[4]) sicher gelehrt haben, nur der vorhandene Vorrat von harnfähigen Stoffen ausgespült, während der Stoffwechsel selbst unbeeinflußt bleibt. Wir haben daher in der Verabreichung größerer Wassermengen am Schlusse jeder Versuchsperiode ein ausgezeichnetes Mittel zur schärferen Abgrenzung der dieser Periode zugehörigen Stoffwechselprodukte. Hierdurch werden die Fehler, welche sonst durch ungleiche Wasseraufnahme

1) Picard, De la présence de l'urée dans le sang etc. Straßburg 1856.

2) Gréhant, Journ. d. l'anat. et d. l. physiol. 1870—71, S. 318.

3) Oppenheim: Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Harnstoffausscheidung. Pflügers Archiv Bd. 23, 1880, S. 446.

4) O. Naumann: Der Einfluß größerer Wassermengen auf die Stickstoffausscheidung beim Menschen. Archiv f. Hygiene Bd. 36, S. 248, 1899.

des Versuchsindividuums erzeugt werden, und ebenso diejenige durch Unvollkommenheit der Harnentleerung beseitigt. Man kann diese Methode auch bei Hunden, welche nicht katheterisierbar sind, anwenden, indem man etwa 2 Stunden vor Schluß der Versuchsperiode eine große Wassermenge mittels Schlundsonde eingießt.

Die Ernährung beim Stoffwechselversuch.

Für die Ernährung beim Stoffwechselversuch sind eine Reihe von Forderungen zu erfüllen.

1. Das Ernährungsmaterial muß gleichmäßig zusammengesetzt sein und der Analyse keine zu großen Schwierigkeiten bereiten.

2. Die Ernährung muß einfach sein, um dem Experimentator keine zu erheblichen Analysenarbeiten aufzuerlegen, darf aber andererseits nicht so einförmig zusammengesetzt sein, daß während der Dauer des Versuches der Appetit leidet.

3. Die Ernährung muß ausreichend bezw. der speziellen Fragestellung des Versuches angepaßt sein.

Man wird von dem sub 1 genannten Gesichtspunkte aus solche Nahrung bevorzugen, welche sich lange Zeit in unverändertem Zustande erhält. Für den Menschen kommen hier in Betracht die verschiedenen Getreidearten und deren Mehle. Besonders sind Reis und die verschiedenen Suppenmehle, weil sie viel Abwechslung in den Geschmack bringen, sehr zu empfehlen, sowie Nudeln. Bei diesen Substanzen kommt es nur darauf an, die Fehler, welche durch ihre hygroskopische Beschaffenheit entstehen könnten, zu vermeiden. Man hat dies dadurch erreicht, daß man wiederholt während des Versuches den Wassergehalt dieser Nahrungsmittel bestimmte. Einfacher ist es, gleich zu Beginn der Versuchsreihe soviel Portionen, wie voraussichtlich gebraucht werden, von dem Vorrat abzuwiegen und in geeigneten Gefäßen aufzubewahren. Ähnlich empfiehlt es sich, bei Versuchen an größeren Pflanzenfressern das Heu in gehäckseltem Zustande zu verwenden und auch hiervon die Tagesrationen für die ganze Versuchsreihe abzuwiegen und in Beuteln luftig aufzuheben.

Das gewöhnliche Brot eignet sich wegen der Schwierigkeit der Konservierung sehr wenig zu längeren Stoffwechselversuchen. In neuerer Zeit wird geschnittener Pumpernickel in Büchsen konserviert von einigen Fabriken geliefert. Wenn man ein solches Präparat von zweifellos demselben Ausgangsmaterial sich verschafft, kann es im Stoffwechselversuche verwandt werden, soweit man Brot von so schlechter Ausnutzung, wie es Pumpernickel ist, überhaupt benutzen will. Bei anderen Broten bedingt, abgesehen von der schlechten Haltbarkeit, die sehr wechselnde Zusammensetzung aus Krume und Kruste so wesentliche Differenzen, daß man von ihrer Verwendung absehen muß. Wenn der Versuchsplan die Notwendigkeit der Aufnahme von Brot bedingt, ist es das beste, dasselbe selbst aus den gewogenen Ingredienzien zu bereiten, so daß man mit Genauigkeit bestimmen kann, wieviel Mehl, Zucker, Salz etc. in der Tagesportion enthalten ist. Die kleinen, mit Gas geheizten, zu Untersuchungen von Backwaren benutzten Backöfchen können zu derartiger Brotbereitung bequem verwendet werden. In den meisten Fällen wird man zweckmäßig als Brotersatz Cakes und

Zwieback verwenden. Im Laboratorium von Tigerstedt wurde vielfach das schwedische Knäckebrot benutzt. Wir verwandten von einer größeren Firma bezogene Cakes, die man nach Geschmack aussuchen, und bei denen man erfahrungsgemäß auf eine außerordentlich gleichmäßige Zusammensetzung rechnen kann.

Als Gemüse eignen sich zu Stoffwechselversuchen nur die verschiedenen Formen von Dörrgemüsen. Die Zubereitung macht insofern etwas Mühe, als das Gemüse vor dem Kochen ziemlich lange geweicht werden muß. Jedes zu verwendende Gemüse muß vorher in bezug auf seinen Geschmack geprüft sein. Man macht in der Hinsicht oft unangenehme Erfahrungen. Besonders empfehlen möchten wir Kartoffelflocken, Schoten, Schneidebohnen, Mohrrüben. Zu vermeiden sind wegen der Schwierigkeit der Analyse nicht nur, sondern auch wegen der wechselnden Mengen von Abfällen die verschiedenen Obstarten. Als guter Ersatz derselben bieten sich uns konservierte Fruchtsäfte und Marmeladen. Bei den letzteren hat man aber auf gute Durchmischung des Materials zu achten.

Auch Schokolade ist wegen ihrer Haltbarkeit und gleichmäßigen Zusammensetzung gut zu benutzen. Man wird nur daran denken müssen, daß sie ziemliche Mengen unverdaulichen Stickstoffs enthält.

Von animalischen Produkten hat man vielfach mit gutem Erfolg die im Handel befindlichen Dauerwaren, Wurst, Schinken, benutzt. Bei Verwendung von Schinken bedarf es großer Sorgfalt in der Entfernung von Fettpartikelchen und der Vermeidung der stärker getrockneten Randschichten. Würste liefern im allgemeinen bessere Resultate, wenn man nur die hier ziemlich große Gefahr des Austrocknens vermeidet. Ein sehr gleichmäßiges Fleischpräparat, das auch wegen seiner appetitanregenden Wirkung empfehlenswert ist, stellen die Gänseleberpasteten und ähnliche Präparate dar. Auch hier muß natürlich für die ganze Versuchsreihe ein einheitlich gemischtes Ausgangsmaterial verwandt werden. Die Hauptmasse des Bedarfs an Fleisch deckt man zweckmäßig mit gehacktem Material, das man des höheren Wohlgeschmacks wegen aus Rindfleisch (etwa 2 Teile) und Schweinefleisch (etwa 1 Teil) mischt. Von der sorgfältig durchgearbeiten Masse wiegt man die Tagesportionen ab, brät sie mit genau abgewogenen Mengen guter Butter und bringt sie in Konservenbüchsen, welche sofort sterilisiert werden. Auch die im Handel befindlichen Rexschen respektive Weckschen Konservengläser, deren Deckel mit Gummiringen aufgedichtet werden, eignen sich vorzüglich für diesen Zweck. Zum Genuß wird das Fleisch, wenn man es warm genießen will, mit der Konservenbüchse in einem Wasserbade erwärmt.

Eier eignen sich wenig zu Stoffwechselversuchen, da sie, auch wenn man sie vom selben Hühnerhofe bezieht, Unterschiede in der Zusammensetzung aufweisen. Es gibt käufliche, pulverförmig getrocknete Eidotterpräparate von ziemlich gutem Geschmack, die als Ersatz frischer Eier verwertet werden können.

Milch verwenden wir am liebsten so, daß wir von einer größeren Menge die Tagesportionen in Flaschen abfüllen und bei 102° sterilisieren. Man kann auch die käufliche kondensierte Milch benutzen.

Butter ist nur als sogenanntes Schmalz oder nach sehr reichlichem Salzzusatz längere Zeit haltbar. Will man auf frische Butter nicht verzichten,

so sind von jeder Portion gesonderte Analysen notwendig, da namentlich der Wassergehalt recht erheblich variiert.

Von Käsen eignen sich am besten die pulverförmigen (etwa Parmesankäse), von denen man die Tagesportionen auf einmal abwiegt und in geschlossenen Büchsen aufhebt. Trockene Käsearten (Schweizer, Chester) können auch in Stücken verwandt werden, wenn man dieselben möglichst von der Luft abgesperrt aufbewahrt.

Die verschiedenen alkoholischen Getränke bereiten bei ihrer Haltbarkeit und leichten Abmeßbarkeit dort, wo sie verwandt werden sollen, keine Schwierigkeiten.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß uns eine genügende Mannigfaltigkeit an Speisen für den Versuch am Menschen zur Verfügung steht, um Störungen des Appetits durch Monotonie der Kost zu vermeiden. Natürlich mindert sich die analytische Arbeit, und es wächst die Genauigkeit des Versuches, je mehr man den Speisezettel beschränkt. Es bedarf wohl nicht der Erwähnung, daß die Kost um so einfacher gewählt werden kann, je kürzer der Versuch ist. Eine so große Mannigfaltigkeit, wie sie Atwater und Benedict, sowie Chittenden gewählt haben, scheint uns in jedem Falle vermeidbar.

Als Appetitanregungsmittel haben sich uns besonders Senf, Fleischextrakt und Maggibouillon bewährt.

Besondere Schwierigkeiten bereitet die Analyse der Nahrung des Säuglings, wenn derselbe Muttermilch erhalten soll. Die im Verlaufe eines Saugaktes entleerte Milch ist bekanntlich von sehr wechselnder Zusammensetzung. Man kann die dadurch bedingten Unsicherheiten umgehen, wenn man die Milch der Mutter absaugt und sie dem Jungen mittels der Saugflasche verabreicht, nachdem man eine Durchschnittsprobe zur Analyse genommen hat. Andererseits kann man auch das Trinken des Jungen von Zeit zu Zeit unterbrechen und kleine Proben aus der Milchdrüse entnehmen, so daß man in dem Analysenmaterial Milch aus den einzelnen Phasen des Saugaktes besitzt. Die Menge der aufgenommenen Milch wird durch Wägen des Säuglings vor und nach der Nahrungsaufnahme festgestellt. Nimmt man in der eben gekennzeichneten Weise Einzelproben, so erhält man die größtmögliche Genauigkeit, wenn man nach jeder Probeentnahme eine Wägung vornimmt und der Größe der einzelnen Milchaufnahme entsprechend aliquote Teile der abgemelkten Milch zur Analysenprobe verwendet.

Bei Tieren, die, wie z. B. Schweine, sich schwer melken lassen, kann man nach dem Vorgange von Zuntz bei den Jungen Ösophagusfisteln anlegen, die bei der „Scheinfütterung" freilich mit Speichel vermischt, abfließende Milch quantitativ auffangen und analysieren.

Bei Versuchen an Fleischfressern kann man die Nahrung in derselben Weise konservieren, wie wir dies für den Stoffwechselversuch am Menschen besprochen haben. Hier sind aber auch die besseren Sorten des Fleischmehls, wie sie sich im Handel als Viehfutter finden, verwendbar, besonders wenn man gemischte Kost gibt, also das Fleischmehl mit Reis und Fett zusammen kocht. In längeren Versuchsreihen muß nur der Salzarmut des Fleischmehls Rechnung getragen werden. (Vergl. S. 50.)

Beachtung muß man, besonders bei Hunden und Katzen, auch der Konsistenz der Nahrung zuwenden. Dieselbe soll nicht allzu dünnbreiig

sein. Wenn es der Versuchsplan gestattet, ist es empfehlenswert, den Tieren entweder täglich oder in gewissen Zwischenräumen (bei der Abgrenzung der verschiedenen Versuchsperioden) kleine Mengen Knochen zu verabreichen (vgl. S. 40). Abgesehen von den Knochen eignet sich zur Anregung des Appetits bei Hunden besonders Fleischextrakt, aber auch Zucker, falls das Tier an dessen Aufnahme gewöhnt ist. Schlecht schmeckende Substanzen werden leicht in Hackfleisch oder auch in Gelatinekapseln eingehüllt verschluckt. Wenn das nicht angeht, gibt man sie durch die Schlundsonde und läßt wo möglich unmittelbar nachher, um das Erbrechen zu verhüten, Fleisch oder andere wohlschmeckende Substanzen fressen.

Besondere Sorgfalt ist der Vermeidung von Resten zuzuwenden. Die Konservenbüchsen müssen aufs sorgfältigste ausgekratzt werden. Bleiben Reste zurück, so genügt es in der Regel nicht, dieselben zurückzuwiegen, vielmehr müssen sie in Hinsicht auf die wichtigsten Bestandteile (Stickstoff und Brennwert) analysiert werden.

Dasselbe gilt vom Rauhfutter bei den Pflanzenfressern, da hier die Reste meist sehr erheblich von der durchschnittlichen Zusammensetzung des Futters abweichen. Häufig gelingt es, solche Reste fein zerschnitten mit dem Futter des nächsten Tages zur Aufnahme zu bringen.

Bei Hunden kommt Erbrechen nach hastiger Nahrungsaufnahme sehr häufig vor, und die Tiere fressen das Erbrochene, wenn es ihnen zugänglich bleibt, meist verlustlos wieder auf. Wo daher Erbrechen zu befürchten ist, sollte man die Hunde einige Zeit nach der Nahrungsaufnahme außerhalb des Stoffwechselkäfigs unter Beobachtung halten, damit nicht das Erbrochene durch die Stäbe des Stoffwechselkäfigs hindurchfällt.

Bei Versuchen an Fleischfressern ist es im allgemeinen üblich, die Tagesrationen in einer Mahlzeit zu geben. Das hat den Vorteil, daß am Schluß der 24stündigen Periode die Verdauung und die Ausscheidung der stickstoffhaltigen Produkte abgeschlossen ist. Bei Substanzen, welche den Darm stärker reizen oder deren Volumen besonders groß ist, muß man aber die Tagesportionen auf mehrere Mahlzeiten verteilen.

Der Begriff „ausreichende Ernährung“ endlich besagt nicht nur, daß eine genügende Menge an Eiweiß in der Nahrung vorhanden ist, daß der Brennwert genügend ist, um die Ausgaben des Tieres zu decken, er verlangt auch, daß in der Gesamtzusammensetzung die einzelnen Bestandteile der Nahrung derartig gemischt sind, wie es dem Wohlbefinden des Tieres entspricht. Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß uns die spezielle Fragestellung häufig zwingt, gerade von dieser Forderung Abstand zu nehmen.

Ganz besonders muß man sein Augenmerk in dieser Beziehung auch darauf richten, daß dem betreffenden Versuchstier die Aschenbestandteile, deren es zur Ernährung bedarf, in genügendem Maße zugeführt werden. Wir haben hierbei gar nicht die schweren Schädigungen der Gesundheit im Auge, wie sie zum Beispiel von Aron[1]) an kalkarm ernährten jungen Hunden nachgewiesen sind. Hier sind Ursache und Wirkung so manifest,

1) H. Aron und R. Sebauer, Untersuchungen über die Bedeutung der Kalksalze für den wachsenden Organismus. Biochem. Zeitschr. 1908, Bd. VIII, S. 1.

daß sie einem sorgfältigen Experimentator kaum entgehen können. Viel wichtiger sind die geringeren Störungen des Stoffwechsels, die auf mangelhafte oder unzweckmäßige Mineralzufuhr zurückzuführen sind, wie Appetitlosigkeit und schlechte Resorption der Nahrung. Das Fleisch enthält nur minimale und für den Bedarf selbst eines erwachsenen Tieres nicht ausreichende Kalkmengen. Unter natürlichen Bedingungen verschafft sich der Hund das Fehlende durch den Genuß von Knochen. Wenn wir die Stoffwechselperioden durch Knochenfütterungen abgrenzen, ist hierdurch dem Salzbedürfnis des Tieres genügt. Wenn wir eine besonders aschenarme Nahrung, z. B. ausgekochtes Fleisch oder Fleischmehle verfüttern, empfiehlt es sich, eine Salzmischung von der ungefähren Zusammensetzung der normalen Fleischasche unter Zufügung von etwas basisch kohlensaurem Kalk der täglichen Nahrung zuzumischen. Es werden hierdurch manche Verdauungsstörungen vermieden. Wir benutzen folgendes Rezept für die Zubereitung der Salzmischung, von der etwa eine Messerspitze täglich verabreicht wird:

PO_4K_2H	45 %
PO_4MgH	20 %
$ClNa$	10 %
$CaCO_3$	24 %
Fe_2O_3	1 %
	100 %

Besonders wichtig ist die Salzzufuhr auch bei den Herbivoren, deren Nahrung an Kalisalzen sehr reich, dagegen arm an Natronsalzen ist. Hier empfiehlt es sich, Kochsalz in Form von Lecksteinen zu verwenden.

Außerordentlich erleichtert wird die Anstellung von Stoffwechselversuchen, wenn man von vornherein das zur Erhaltung des Tieres auf seinem Bestande nötige Futterquantum verwendet. In bezug auf den N-Gehalt des Futters ist ein großer, je nach den speziellen Bedürfnissen des Versuches wechselnder Spielraum gestattet, wenn nur das Minimum von etwa 0,3 g N pro Kilo bei Hunden, 0,2 g bei Menschen, 0,1 g bei großen Herbivoren gewahrt bleibt. Der zur Erhaltung nötige Energiebedarf variiert zwar nicht unerheblich je nach der Lebhaftigkeit des Tieres, er geht aber doch sehr annähernd der Körperoberfläche proportional, das heißt, er berechnet sich nicht aus dem Körpergewicht, sondern aus dem Quadrat der 3. Wurzel dieses Gewichtes. Wenn wir das Gewicht des Tieres mit p bezeichnen, dann ist der Verbrauch eines beliebigen Tieres dividiert durch $p^{2/3}$ im Zustande absoluter Ruhe nach den Respirationsversuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern = 90—100 Kal. Dieser Verbrauch erfährt natürlich eine Steigerung durch die Bewegungen des Tieres und durch die Verdauungsarbeit. Für ein nicht zu eiweißreiches Erhaltungsfutter können wir den wirklichen Verbrauch eines im Käfig bei behaglicher Wärme gehaltenen Hundes zu 120 Kal. für die der Oberflächeneinheit entsprechende Tiermasse veranschlagen. Wir können daher für ein beliebiges Tier vom Gewichte p den Erhaltungsverbrauch berechnen, indem wir $p^{2/3}$ mit 120 multiplizieren. Wir verfügen über eine genügende Anzahl von Versuchen, welche die Richtigkeit dieser Rechnungsweise bestätigt haben.

Diese Berechnungsweise ergibt auch für den Menschen einigermaßen verwendbare Werte. Natürlich haben dieselben nur dann Gültigkeit, wenn irgendwie erhebliche körperliche Arbeit nicht geleistet wird, denn durch diesen Faktor wird ja der Stoffwechsel des Organismus enorm gesteigert. Diese Steigerung des Energieverbrauchs und die dadurch notwendige Erhöhung der Nahrungszufuhr ist in allen den Fällen leicht in Rechnung zu stellen, in denen die Versuchsobjekte sich abgesehen von der Zeit, in der sie meßbare Arbeit leisten, ruhig verhalten. Dies erreichen wir bei Tieren, indem wir dieselben während der Ruhestunden in verhältnismäßig engen Stoffwechselkäfigen halten, und dadurch während dieser Zeit für eine geringe Regsamkeit des Tieres sorgen, während wir die Arbeit an einem der Apparate leisten lassen, die uns eine quantitative Messung derselben gestatten. Es ist daher z. B. bei derartigen Versuchen an Hunden vorzuziehen, die oben beschriebenen Stoffwechselkäfige aus Holz zu benutzen, in denen die Tiere außerhalb der Arbeitszeit sich meist sehr ruhig verhalten, da ihre Aufmerksamkeit durch Vorgänge in ihrer Umgebung wenig erregt wird. Viel schwieriger sind diese Bedingungen bei den großen Herbivoren zu erfüllen, da eine Belästigung durch Insekten etc. und dadurch bedingte Unruhe und Abwehrbewegungen der Tiere nur schwer zu vermeiden ist. Doch gelingt dies, wenn man Türen und Fenster des Stalles sorgfältig geschlossen hält, die notwendige Ventilation durch Einsetzen von Gazerahmen in Tür- und Fensteröffnungen bewirkt und reichlich Fliegenleim und ähnliche Hilfsmittel anwendet. Von zu beachtenden Momenten spielt ferner die Temperatur eine große Rolle, da bei zu niedriger Temperatur durch die chemische Wärmeregulation, bei zu hoher durch die physikalische eine Steigerung des Stoffwechsels bedingt wird. Die indifferente Temperatur liegt um so niedriger, je größer das Tier ist. Für Kaninchen und kleine Hunde liegt sie nach Rubner[1]) bei 30° C., für Rinder[2]) und Pferde[3]) bei etwa 15° C., für den Menschen hängt sie natürlich von der Art der Kleidung ab. Man benutzt zweckmäßig die in neuerer Zeit recht vollkommen von der Technik gelieferten Gasöfen mit Temperaturregulator zur Heizung des Versuchsraumes. Vollkommene Konstanz der Temperatur desselben erzielte Rubner, indem er die Tiere in sein Kalorimeter verbrachte.

Ferner wird sich die Größe des Stoffwechsels abhängig erweisen von dem Temperament der Tierart sowohl wie des einzelnen Individuums. Es wird daher z. B., gleiche Stärke der Störung vorausgesetzt, die Steigerung erheblicher sein bei dem lebhaften Pferde als bei dem ruhigen Rinde. So fand sich bei einem Pferde, welches im Respirationskasten des Pettenkoferschen Apparates von einigen Fliegen beunruhigt wurde, eine Steigerung des Stoffumsatzes um 10,8 % des Normalwertes[4]). Noch schwerer ist es, beim Menschen den Mehrverbrauch zu schätzen, den die gewöhn-

1) Rubner, Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung. Leipzig u. Wien 1902 S. 315 ff.

2) Henneberg und Stohmann, Neue Beiträge zur rationellen Fütterung.

3) Zuntz und Hagemann, Stoffwechsel des Pferdes. Landwirtschaftliche Jahrbücher, Bd. XXVII, 1898, Ergänzungsband III, S. 266.

4) Zuntz, Hagemann und Lehmann, Landwirtschaftl. Jahrbücher Vol. XXIII, S. 161.

liche Tätigkeit bedingt. Nicht nur ist die Gesamtarbeitsleistung auch bei anscheinend sehr ähnlicher Tätigkeit eine sehr wechselnde, auch das Temperament des betreffenden Menschen spielt hier augenscheinlich eine ausschlaggebende Rolle[1]). Man kann demnach in derartigen Fällen eine Nahrungszufuhr, die die Bedürfnisse der Versuchsperson deckt, von vornherein häufig nur schwer mit Sicherheit angeben. Dies ist ja einer der Gründe, weshalb eine Vorperiode unbedingt notwendig ist, in der man eine etwaige Korrektur der Nahrungszufuhr vornehmen kann. Zu reichliche oder zu geringe Nahrungszufuhr braucht natürlich nicht den Versuch illusorisch zu machen, immerhin erschwert sie häufig die Deutung der gewonnenen Versuchsresultate.

Man hat, um die ungefähre Größe der schwer meßbaren Arbeit festzustellen, die Versuchsindividuen mit einem Schrittmesser versehen. Doch sind diese Instrumente sehr wechselnd in ihrer Empfindlichkeit. Auch ist ja der Mehrverbrauch für Stehen und Bewegung der oberen Extremitäten oft ein recht erheblicher. Man hat daher den Schrittmesser nur als unvollkommenes Hilfsmittel anzusehen.

Um so genauer können wir bei Regelung der Nahrungszufuhr die Arbeit in Rechnung stellen, welche wir zu messen imstande sind. Als solche Arbeit eignet sich am besten das Gehen. Zur Abschätzung des Verbrauches hierfür kommen für den Menschen folgende Zahlen in Betracht:

Die mechanische Arbeitseinheit, 1 mkg, erfordert unter günstigen Arbeitsbedingungen etwa 7,5—8 kal. Ein Mensch, der mit Kleidern 80 kg wiegt, würde also, wenn er auf bequemer Straße 100 m hoch steigt, außer dem Verbrauch, welchen der zurückgelegte Weg, falls er eben wäre, erfordern würde, noch $80 \times 100 \times 7{,}5$ kal. $= 60$ Kal. an chemischer Energie brauchen.

Der Gang auf horizontaler Straße erfordert, je nachdem das Individuum mehr oder weniger geschickt marschiert[2]), 500—600 kal. pro Kilogramm und 1000 m. Ein Mensch von 80 kg Gewicht würde also für 1000 m etwa $80 \times 0{,}55 = 44$ Kal. brauchen, oder bei 75 m Minutengeschwindigkeit in jeder Minute 3,3 Kal., das ist etwa das Zweieinhalbfache des Verbrauchs in absoluter Ruhe. Wenn die Straße 10 % Steigung hat, ist die Gesamtsteigerung des Verbrauchs für 1000 m Weg $44 + 60 = 104$ Kal., oder bei der vorher angenommenen Geschwindigkeit $\frac{104 \times 75}{1000} = 7{,}8$ Kal. pro Minute, 468 Kal. pro Stunde; dies ist etwa die Grenze dessen, was ein mittelkräftiger Mensch längere Zeit leisten kann.

Mit wachsender Geschwindigkeit bis zu 100 m in der Minute wächst der Verbrauch pro 1 kg und 1000 m Weg um 2,4 kal. für 1 Meter Geschwindigkeitszuwachs; über 100 m in noch stärkerem Verhältnisse.

Ebenso wie für die Geharbeit besitzen wir durch die Untersuchungen von Leo Zuntz[3]) ausreichende Unterlagen zur Verwendung des Radfahrens zum Zwecke einer genau dosierbaren Stoffwechselsteigerung.

---

1) Vgl. Loewy u. Fr. Müller, Beiträge zum Stoff- und Energieumsatz des Menschen. Archiv für (Anat. u.) Physiol. 1901, S. 316.

2) Jedes mechanische Hindernis, jede Schmerzhaftigkeit im Bereich der Muskeln, Sehnen, Gelenke, andererseits leichte Koordinationsstörungen (beginnende Tabes) erhöhen den Stoffverbrauch beim Gehen sehr erheblich.

3) L. Zuntz, Über den Gaswechsel und Energieumsatz des Radfahrers. Verlag Hirschwald, Berlin 1899.



Es beträgt hierbei für einen 70 kg wiegenden Menschen der stündliche Mehrverbrauch gegenüber absoluter Ruhe:

bei 9 km Weg in der Stunde	. . . .	183 Kal.
„ 15 „ „ „ „ „	. . . .	313 „
„ 22 „ „ „ „ „	. . . .	571 „
„ 9 „ „ und 3 % Steigung	. . . .	316 „
„ 15 „ „ „ Gegenwind von 10 m Sekundengeschwindigkeit		601 „

Der Verbrauch für Steigarbeit ist pro Meterkilogramm bei den bisher diesbezüglich untersuchten Tierarten (Pferd und Hund) annähernd gleich dem beim Menschen gefundenen Werte. Über die auf der Tretbahn gefundenen Werte für die Horizontalbewegung bei diesen Tieren cf. S. 62. Nur wo das Versuchsindividuum sich frei bewegen kann, ist diese einfache Messung der Arbeit möglich. In allen anderen Fällen sind gewisse Hilfsapparate erforderlich.

Apparate zur Messung der Arbeitsleistung.

Die Apparate, welche hier in Betracht kommen, kann man in zwei Gruppen sondern, von denen die erste für die Stoffwechsel-Physiologie von geringerer Bedeutung ist, da sie eine andauernde Arbeitsleistung, bei der die Hauptmasse der Muskulatur des Körpers tätig ist, nicht gestattet. Das sind die Kraftmesser in ihren verschiedenen Formen. Von diesen ist das Collinsche Dynamometer viel in Gebrauch. (Fig. 32.) Es besteht aus einer Feder, welche in die Hohlfläche der Hand passen soll. Der von der Hand ausgeübte Druck wird auf ein Zeigerwerk übertragen und kann dort abgelesen werden. In gleicher Weise kann auch die Zugkraft zweier Finger messend registriert werden. Der Apparat gibt aber selbst bei derselben Person sehr wechselnde Resultate, weil er nicht stets in genau gleicher Weise in der Handfläche liegt. Daß er für verschiedene Personen nicht vergleichbare Werte liefert, ist klar. Ein Apparat, der für die Hand des einen paßt, kann z. B. von der Hand eines anderen nicht genügend fest umspannt werden, so daß bei gleicher Anstrengung und Kraftentwicklung ganz ungleiche Werte resultieren. Auch werden manche Personen durch Schmerzhaftigkeit des Druckes verhindert, ihre volle Kraft zu entfalten. Es ist daher folgende Veränderung des Dynamometers als ein wesentlicher Fortschritt zu betrachten: Die Federn werden von Hebeln umfaßt, welche in zwei Platten für das Mittelglied des Zeigefingers und die Kuppe des Daumens enden.

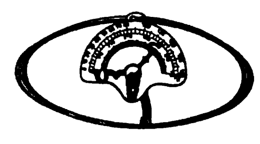


Fig. 32.
Dynamometer nach Collin.

Nach anderem Prinzip ist das Dynamometer von Ch. Henry[1]) gebaut. (Fig. 33.) Bei diesem Apparat wird durch Druck auf einen mit Quecksilber gefüllten Gummiballon das Quecksilber in einem Steigrohr emporgetrieben. Dabei wird ein Schwimmer mit gehoben, der die Größe der Kompression anzeigt. Der Apparat kann auch, wie Fig. 33 zeigt, zur graphischen Registrierung verwandt werden. Er ist insofern besser als die

1) Henry, Sur la mesure de l'énergie disponible par un dynamomètre totaliseur-enregistreur. C. r. de l'Acad. des sciences, 20 mars 1905.

oben besprochenen Dynamometer, als die gesamten Muskelgruppen der Hand dabei in einer Form betätigt werden, die den physiologischen Verhältnissen wohl entspricht, vorausgesetzt, daß man den mit Quecksilber gefüllten Ballon der Größe der Hand anpaßt.



Fig. 33.
Dynamometer nach Henry.

Auch in anderer Hinsicht leistet er wesentlich mehr als die anderen Dynamometer. Er eignet sich weit besser als diese zum Studium von Fragen der Leistungsfähigkeit bei verschiedener Ernährung, der Ermüdung, Erholung, Arznei- und Giftwirkung usw. Er gestattet nämlich in der abgebildeten Form eine Wiederholung der Kompression in beliebigem Tempo oder auch ein Andauern der Kompression bis zur Erschöpfung (statische Arbeit).

Der klassische Apparat zum Studium derartiger Fragen ist der Ergograph von Mosso[1]), von dem zahlreiche Modifikationen benutzt werden. Als arbeitenden Muskel wählte Mosso den flexor digiti III. Der Arm wird auf einer Unterlage so fest fixiert, daß die übrigen Muskeln der Hand und des Unterarms den ermüdenden Beuger des Mittelfingers nicht unterstützen können. (Fig. 34—36.)

Dies wird erreicht durch zwei Hohlschienen (Fig. 34 C und D), welche das Handgelenk von beiden Seiten umgreifen, und durch zwei Fingerhülsen (E, F), die den Zeigefinger und Ringfinger fixieren. Zur weiteren Sicherung der Lage des Armes dienen ähnliche unterhalb des Ellenbogens angebrachte Hohlschienen und bei einem neuen, von Zimmermann konstruierten Apparat außerdem noch ein Halter, welcher von hinten gegen die Rückseite des Oberarmes angedrückt wird, so daß der Vorderarm zwischen diesem Halter und den Zylindern, welche Ring- und Zeigefinger umfassen, vollkommen unverrückbar festgehalten wird. Figur 36 zeigt das Wesentliche der von Zimmermann ausgeführten Verbesserungen, wobei noch darauf hingewiesen sei, daß die Fingerhülsen der Länge und Größe nach verstellbar sind. Die Kontraktionen des Mittelfingers werden entweder als einzelne Erhebungen auf einem langsam rotierenden Kymographion registriert oder auf einer besonderen Schreibplatte, welche bei jedem Hub um ein gleiches Stück vorwärts geschoben wird. Auf diese Weise kommt die sogenannte Ermüdungskurve zustande, von der Figur 37 ein Beispiel ist. Um

1) Mosso, Über die Gesetze der Ermüdung. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1890, S. 89 und: Die Ermüdung. Aus dem Italienischen übersetzt von J. Glinzer, Leipzig 1892.

die Gesamtleistung des Fingers bis zur totalen Ermüdung zu summieren, bedient man sich auch eines Bandmaßes, welches bei jeder Verkürzung des

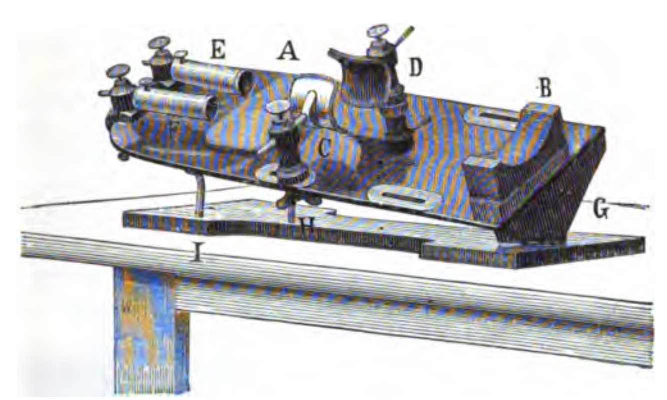


Fig. 34.
Fixationsvorrichtung für Arm und Finger beim Ergographen Mossos.

Fingers durch den Schreibschlitten mitgenommen wird, während dieser bei seiner Rückkehr in die Ruhelage am Band vorbeigleitet[1]).

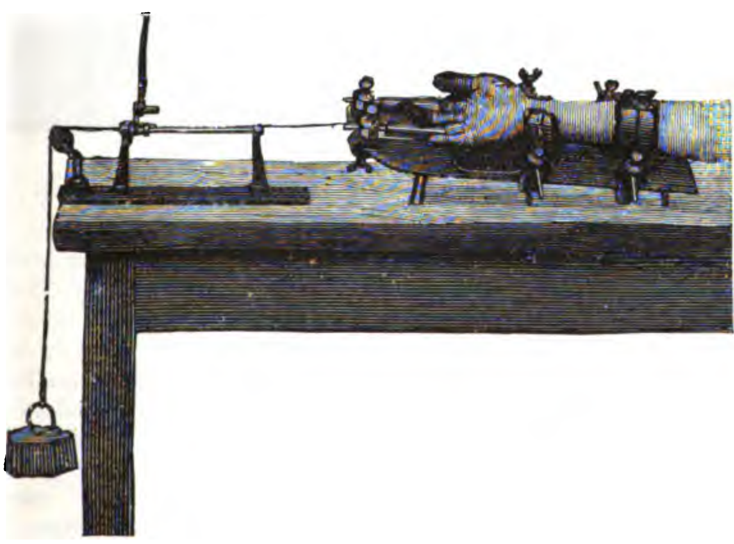


Fig. 35.
Mossos Ergograph. Totalansicht.

Von den anderen zahlreichen Modifikationen des von Mosso angegebenen Prinzips sei noch der Apparat von Dubois[2]) erwähnt, bei welchem der Zeigefinger die Arbeit ausführt, und die übrigen Finger dadurch festgelegt

1) Schumburg, Deutsche militärärztliche Zeitschrift 76 und Zeitschrift für diätetische und physikalische Therapie 1899, Bd. II, Heft 3.
2) Schnyder, Alkohol und Muskelarbeit. Pflügers Archiv, Bd. 93.

sind, daß sie einen Holzpflock umspannen (Fig. 38). Das Vorrücken der Schreibtafel (T) wird hier automatisch durch Eingreifen des Schalthebels x an der Zahnstange (Z) besorgt.

Schon vor Mosso hatte Fick[1]) einen sehr brauchbaren Apparat zum Studium der Arbeitsleistung eines einzelnen menschlichen Muskels beschrieben. Der arbeitende Muskel ist in diesem Falle der abductor indicis, welcher gegen einen federnden Metallstab wirkt, dessen Biegung registriert wird.

Fick benutzte den Apparat hauptsächlich zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft und zum Vergleich der Leistung bei willkürlicher und durch elektrische Nervenreizung bewirkter Kontraktion. Der Apparat ist aber natürlich auch für alle Zwecke brauchbar, für die der Mossosche Ergograph dient. Eine billige und zweckmäßige Modifikation, welche sowohl

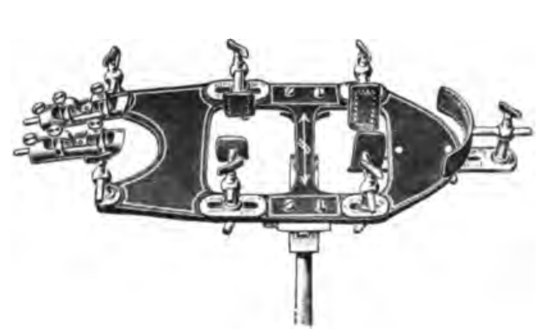


Fig. 36.
Fixierungsvorrichtung des von Zimmermann modifizierten Mossoschen Ergographen.

Fig. 37.
Ermüdungskurve.

isometrische wie isotonische Arbeit zu messen gestattet, wird von der Harvard-Apparatus-Company in Boston zum Preise von nur 1,5 Dollar geliefert. (Fig. 39.)

Den Übergang vom Ergographen zu den Instrumenten, bei denen erhebliche Muskelarbeit geleistet wird, bildet der Arm-Ergograph von Treves[2]).

Bei Stoffwechselversuchen kommt es häufig darauf an, größere Arbeitsmengen zu leisten. Unter vorwiegender Benutzung der oberen Extremitäten geschieht dies am einfachsten durch Drehung eines gebremsten Rades. Derartige Einrichtungen werden häufig zu Heilzwecken als Übungsapparate verwandt. Hierbei sind natürlich nicht so genaue Messungen der geleisteten Arbeit erforderlich wie bei der Lösung physiologischer Aufgaben. Das einfachste Modell derartiger Apparate ist wohl der Gärtnersche Ergostat. Derselbe stellt ein durch eine Kurbel drehbares Bremsrad dar; das Rad ist von einem Metallbande umgriffen, das mittels einer Reihe von Holzklötzen die nötige Reibung besorgt; die Spannung dieses Bremsbandes wird durch ein auf einer Schiene verstellbares Gewicht geregelt. Die Schiene

---

1) Fick, Myographische Versuche an lebenden Menschen. Pflügers Archiv Bd. 41, S. 176, 1887.

2) Archives italiennes de biologie Bd. XXX, S. 1.

trägt eine Teilung, welche die Arbeit pro Umdrehung direkt in Meterkilogrammen angibt; die Zahl der Umdrehungen wird durch einen Tourenzähler registriert. Doch sind die Angaben des Instrumentes mit einem Fehler von

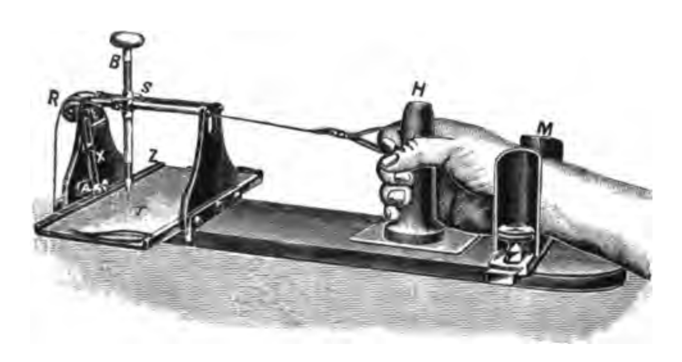


Fig. 38.
Ergograph nach Dubois.

25—30 % behaftet, und man muß zu physiologischen Zwecken den Apparat genau eichen für eine stets gleichbleibende Spannung des Bremsbandes und Schnelligkeit der Umdrehung. Die Eichung kann entweder durch Messung der die Kurbel drehenden Kraft mittels einer Federwage geschehen, oder genauer dadurch, daß man auf der Achse des Bremsrades ein zweites Rad befestigt, um welches eine Schnur geschlungen ist, die so lange mit Gewichten belastet wird, bis das in Bewegung befindliche Rad durch den Zug derselben in gleichmäßiger Geschwindigkeit erhalten wird. Dann ist die Arbeit einer Umdrehung in Meterkilogrammen gleich dem fallenden Gewicht (in Kilogramm) multipliziert mit dem von ihm bei einer Umdrehung des Rades zurückgelegten Weg.

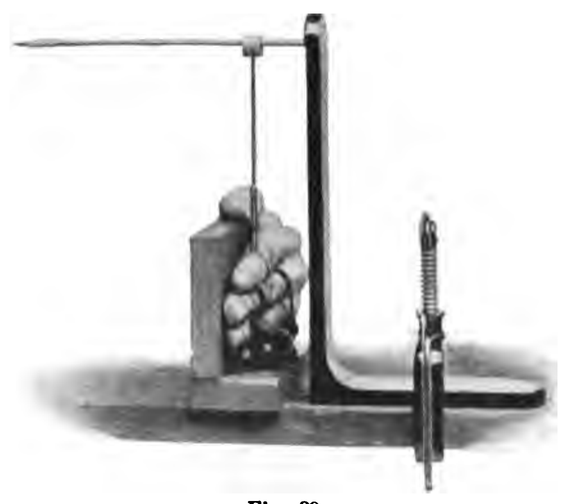


Fig. 39.
Ergograph der Harvard-Apparatus-Company.

Die große Unsicherheit wird bei derartigen Apparaten dadurch bewirkt, daß die Größe der Reibung und damit der Arbeit je nach der Schmierung des Bremsbandes variiert. Sie wird geringer, wenn dieses sich im Laufe der Arbeit erwärmt.

Die Mängel des Gärtnerschen Apparates sind zuerst von Fick[1]) überwunden worden. Sein Apparat ist im wesentlichen folgender (Fig. 40):

Ein eisernes Rad R von etwa 16 cm Halbmesser und einem Kranz von 6 cm Breite kann mittels einer auf seiner Achse A stehenden Kurbel mit beiden Händen bequem gedreht werden. Um den Kranz des Rades ist ein Gurt G mit der bei S angedeuteten Schnalle umgeschnallt.

In eine Öse O am frei herabhängenden Ende des Gurtes ist eine Feder F eingehängt, deren anderes Ende mittels eines Hakens H am Sockel der Maschine befestigt ist. Wenn das Rad in der Richtung des Pfeiles gedreht wird, nimmt die Reibung den Gurt mit, wodurch die Spiralfeder gedehnt wird, bis ihre Spannung der Reibung Gleichgewicht hält. Die Spannung der Feder in Kilogramm ausgedrückt gibt multipliziert mit dem Wege (in Metern), welchen irgend ein Punkt am Radkranze zurücklegt, die geleistete Arbeit in Meterkilogramm.

Fig. 40.
Dynamometer nach Fick. H. Haken, an dem die Feder F angebracht ist, deren Dehnung durch das Bremsband G die Arbeit mißt.

Man kann einen mit O durch einen Hebel verbundenen Zeichenstift auf einen von der Achse A bewegten Papierstreif das Diagramm der Arbeit schreiben lassen.

Der Apparat wurde von Tigerstedt bei Versuchen in seiner Respirationskammer benutzt.

Später hat Zuntz[2]) einen Apparat konstruiert, bei welchem automatisch dafür gesorgt wird, daß die Reibung des Bremsbandes konstant bleibt. Zur Bremsung dient ein das Rad umgebendes Metallband, welches sich in zwei horizontale Eisenbarren fortsetzt. Diese können durch eine Schraube s (Fig. 41) mehr oder weniger einander genähert, und dadurch die Spannung des Bremsbandes geändert werden. Das Ende der Eisenbarren trägt eine Wagschale, welche mit Gewichten beliebig belastet werden kann. Wenn man dann die Schraube s so einstellt, daß das Gewicht bei der Umdrehung in horizontaler Stellung schwebend gehalten wird, so hält die Arbeit des Drehens dem Zuge des Gewichtes genau das Gleichgewicht. Die bei einer Umdrehung geleistete Arbeit ist also gleich dem Zuge des Gewichtes inklusive Wagschale und den dieselbe tragenden Eisenteilen, multipliziert mit dem Wege, welchen dieses Gewicht zurücklegen würde, wenn es die Umdrehung mitmachte. Nennen wir den Abstand der Wagschale von der Drehungsachse a, das ziehende Gewicht inklusive dem Moment der Eisenteile p, so ist die Arbeit einer Umdrehung $= 2 a p \pi$.

Das Moment der Eisenteile, welches vom Mechaniker auf dem Instru-

1) Ein zu physiologischen Untersuchungen verwendbares Dynamometer. Pflügers Archiv, Bd. 50, S. 189.

2) Archiv für (Anat. und) Physiol. 1899, Suppl., S. 39.

mente angegeben wird, läßt sich leicht kontrollieren, indem man an der Aufhängestelle der Wagschale eine Federwage anbringt und mit Hilfe dieser bei vollkommen entspannter Schraube s den Zug dieser Masse in Grammen bestimmt. Betrage nun dieser Zug 1,8 kg, und sei außerdem ein Gewicht von 3 kg auf die Wagschale aufgelegt, so würde p = 4,8 kg sein. Wenn dann der Abstand des Aufhängepunktes der Wagschale von der Achse 0,5 m betrüge, so wäre die Gesamtarbeit einer Umdrehung 2×0,5×4,8×3,14 = 15,07 mkg.

Um die, wie vorher erwähnt, unvermeidlichen Ungleichheiten der Reibung des Bremsbandes zu beseitigen, dient eine Vorrichtung, welche dieses stärker spannt, sobald das Gewicht unter die Horizontale sinkt, und es entspannt, wenn es über dieselbe steigt. Zu diesem Zwecke sind die beiden das Bremsband spannenden Eisenbarren nahe der Wagschale durch ein Wattsches Parallelogramm verbunden und werden durch eine an dieses Parallelogramm angreifende Eisenstange r gespreizt, wenn die Wagschale sinkt, und zusammengedrückt, wenn sie steigt. Da die Barren ihren Drehpunkt in der Schraube s haben, wird das Bremsband im entgegengesetzten Sinne verschoben, d. h., es wird stärker gespannt, wenn die Schale fällt, und entspannt, wenn sie steigt[1]).

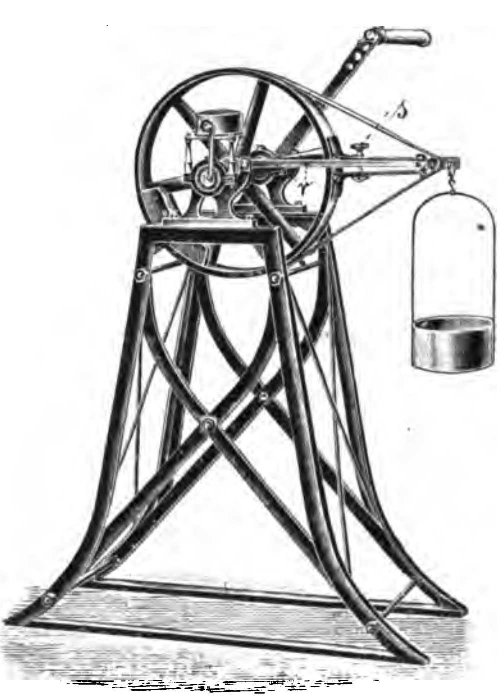


Fig. 41.
Bremsergometer nach Zuntz.

Eine sehr primitive, aber auch vielfach angewandte Art der Arbeit mit den oberen Extremitäten besteht in Hebung von Gewichten, gewöhnlich in der Art ausgeführt, daß man an dem einen Ende eines über eine Rolle laufenden Seiles ein Gewicht anbringt, am anderen Ende zieht. So einfach die Art der Berechnung der geleisteten Arbeit zu sein scheint, so unsicher ist sie in Wirklichkeit. Wenn man das gehobene Gewicht langsam sinken läßt, so wird auch während des Sinkens eine erhebliche Muskelarbeit durch Halten des Gewichtes ausgeführt. Ferner wird beim Heben des Gewichtes ein schwer zu bemessender Anteil desselben durch die Schwere des Armes, eventuell auch eines Teiles des Rumpfes äquilibriert. Die wirklich geleistete Arbeit kann also sehr viel geringer sein als das Produkt aus Gewicht und Hubhöhe.

---

[1]) Das Zuntzsche Bremsergometer ist durch den Mechaniker G. Voigt Berlin SW. Neuenburgerstr. 12 erhältlich.

Richtigere Resultate erhält man jedenfalls, wenn man Gewichte, etwa in Form von Hanteln, aus freier Hand hebt, und das Senken der Gewichte durch einen Gehilfen besorgen läßt.

Für die Berechnung der Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers haben die Ingenieure mehrfach die Arbeit an der Ramme benutzt, bei der bekanntlich der Rammklotz durch eine Anzahl Menschen, die im Takt arbeiten, gehoben und dann freigelassen wird. Wo es gilt, für Stoffwechselversuche große Arbeitsleistungen von gut bekanntem Werte auszuführen, ist diese Methode recht empfehlenswert.

Wie beim Rammen, wird auch beim Rudern die Arbeit der Arme durch die des Rumpfes, und besonders beim Rudern auf Rollsitz auch in erheblichem Maße durch die Beinmuskulatur unterstützt. Während aber bei der Rammarbeit die Arbeitsgröße selbst eine scharf präzisierte ist, besitzen wir beim Rudern keine Möglichkeit, die Arbeitsleistung auch nur einigermaßen genau in mechanischem Maße auszuwerten.

Dies gilt, wenn auch nicht in gleichem Umfange, für jene gymnastischen Apparate, in welchen der Widerstand des Wassers durch gespannte Federn ersetzt wird.

Der weitaus vollkommenste Apparat zur Leistung mannigfacher, genau dosierbarer und meßbarer Arbeit mit den oberen Extremitäten ist der von Johansson[1]) angegebene Arbeitsapparat, mit Hilfe dessen er und seine Schüler zahlreiche Untersuchungen über den Einfluß statischer und mechanischer Arbeit der oberen Extremitäten auf den Stoffwechsel ausgeführt haben. Wegen der Einzelheiten der Konstruktion des in Figur 42 dargestellten Apparates muß auf die Originalarbeit verwiesen werden. Hier wollen wir nur erwähnen, daß der Apparat die weitgehendsten Variationen in bezug auf Hubhöhe und Größe des zu hebenden Gewichtes gestattet, daß er ferner es ermöglicht, ausschließliche Hebung und ausschließliche Senkung des Gewichtes durch den Experimentator zu bewirken, während die Maschine die entgegengesetzte Wirkung selbsttätig leistet. Auch die Geschwindigkeit der Arbeitsleistung wird bei dem Apparat aufs genaueste kontrolliert. Ebenso ermöglicht derselbe, Gewichte eine beliebig lange Zeit durch Muskelkraft in der Schwebe zu halten. (Statische Arbeit.)

Die ältesten Einrichtungen zur Messung der Arbeit der unteren Extremitäten bei Versuchen, welche eine freie Ortsveränderung nicht gestatten, schließen sich an die Treträder an, die früher zur Bewegung von Maschinen benutzt wurden. Solche Treträder sind vielfach gebraucht worden, so von Hirn[2]) in seinen Untersuchungen über die Wärmeproduktion des arbeitenden Menschen, und von Voit[3]). Chauveau[4]) hat nicht wie Hirn das Tretrad

---

1) Johansson, Skand. Archiv für Physiologie 1901, Bd. XI, S. 273 und Hygiaea, Stockholm 1898, S. 1.

2) Recherches expérimentales sur l'équivalent de la chaleur. Kolmar 1858.

3) Voit, Untersuchungen über den Einfluß des Kochsalzes, des Kaffees und der Muskelbewegung auf den Stoffwechsel. München 1860.

4) Chauveau, Le prolongement, chez le sujet alimenté du processus de dépense énergétique de l'état d'inanition, d'après les échanges respiratoires pendant le travail. Cinquantenaire de la société de Biologie. Paris 1899.



in den Respirationsapparat eingebaut, vielmehr das vollkommen verschließbare Rad selbst, in dessen Innern das Tier lief, als Atemkammer benutzt, und durch die Achse ventiliert. Eine solche Methode dürfte auch jetzt noch vorteilhaft verwendbar sein. Es ist nur nötig, daß der Durchmesser des Rades im Verhältnis zur Größe des Tieres recht erheblich sei, da sonst

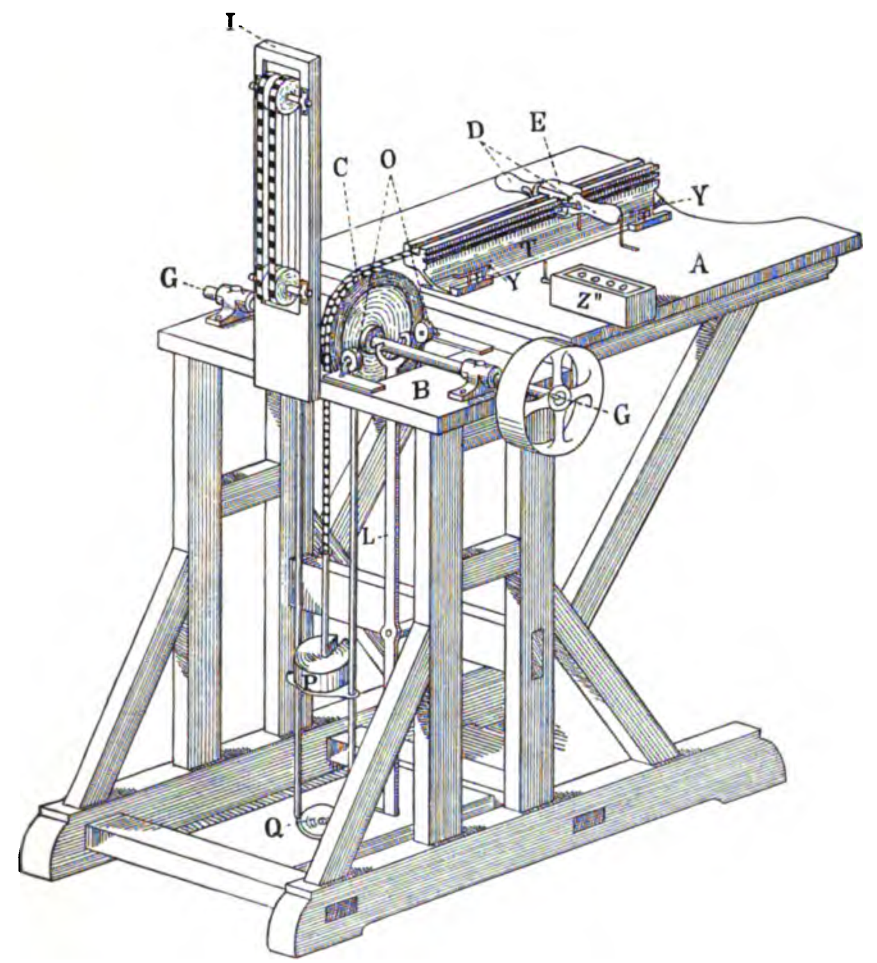


Fig. 42.
Arbeitsapparat nach Johansson.

das Tier nicht notwendig die volle Arbeit, welche dem Begehen der ganzen Peripherie des Rades entspricht, leistet.

Diese Ungenauigkeit in der Messung der Arbeit wird vermieden durch die in neuerer Zeit gebräuchliche Tretbahn, bei der das Tier oder der Mensch auf der oberen Fläche einer durch passende Räder in Spannung gehaltenen und angetriebenen Ellipse sich bewegt. Mit Hilfe einer solchen

Tretbahn lassen sich die verschiedenen Bewegungen ohne Ortsveränderung ausführen und ihrer Größe nach bestimmen. Der Antrieb der Tretbahn kann durch das Tier selbst hervorgerufen oder einer Maschine überlassen werden. Ferner sind die vollkommeneren Tretbahnen so eingerichtet, daß man ihnen eine beliebige Neigung gegen den Horizont geben kann. Nur wenn die Bahn durch einen Motor getrieben wird, ist freie Bewegung des Tieres in horizontaler Richtung oder bergab möglich. Der Gang auf einer durch einen Motor bewegten, horizontal gestellten Tretbahn ist nicht wesentlich verschieden in bezug auf die aufzuwendende Muskelarbeit von der freien Bewegung auf horizontaler Strecke. Der Energieverbrauch beträgt bei derartiger Horizontalarbeit für einen Menschen mittlerer Größe wie beim freien Gang auf ebener Straße 0,55 Kal. pro Kilogramm und 1000 Meter, für Pferde von etwa 450 kg Gewicht wurde er von Zuntz und Hagemann zu 0,336 Kal. bei 78 m Minutengeschwindigkeit bestimmt. Er wächst zwischen 78—98 m um 0,0035 kal. pro Meter Geschwindigkeit.

Beim Hunde ist der Verbrauch für den horizontalen Gang je nach der Körpergröße sehr verschieden[1]). Er verhält sich fast proportional der Körperoberfläche und beträgt dividiert durch $p^{2/3}$ (vgl: S. 50.) pro 1 m Weg rund 4 kal. Wir werden daher bei einem Hunde von 14,2 kg Gewicht für 1000 m horizontalen Weges einen Verbrauch zu rechnen haben von $14{,}2^{2/3} \times 1000 \times 4$ kal. = 23,5 Kal., was allerdings gegenüber dem Tagesverbrauch eines solchen Hundes bei mittlerer Kost und Ruhe ($14{,}2^{2/3} \times 120 = 704$ Kal.) wenig in Betracht kommt. Nur wenn ein Hund größere Strecken bergauf steigt oder stärkere Arbeit durch Zug leistet, wobei jedes Meterkilogramm 7—8 kal. erfordert, spielt die Arbeit eine erhebliche Rolle.

Die Tretbahnen sind in verschiedenen Laboratorien der Größe der zu benutzenden Tiere entsprechend verwendet worden. Fig. 43 gibt die von Zuntz und Lehmann[2]) beschriebene Tretbahn für größere Tiere. Die Bahn wird durch einen auf der Zeichnung nicht sichtbaren Motor bewegt. R ist das Triebrad, an welchem der Riemen des Motors angreift, E das Zahnrad, das die Glieder der Tretbahn faßt. Durch das Stellrad H kann mit Hilfe der Zahnstange K die Neigung der Bahn geändert werden.

Soll Zugarbeit gemessen werden, so spannt man die Tiere an den Haken P an. Von dort läuft das Drahtseil Q über die Rolle T und trägt die den Zug messenden Gewichte X und U. U ist in Flüssigkeit getaucht, um die Unregelmäßigkeit des Zuges durch Dämpfung zu mildern. Eine an der Achse des Rades R befindliche Bremse muß so reguliert werden, daß die Gewichte X und U in der Schwebe bleiben. Dann ist die Zugarbeit gleich dem Produkt aus dem Gewichte und dem Wege, der an einem der Achse des Rades R aufgesteckten Tourenzähler abgelesen wird.

Es ist also mittels dieser Tretbahn die Messung jeder Gangart des

1) Vergl. B. Slowtzoff, Über die Beziehungen zwischen Körpergröße und Stoffverbrauch der Hunde bei Ruhe und Arbeit. Pflügers Archiv Bd. 95, S. 158, 1903 und N. Zuntz, Einfluß der Geschwindigkeit, der Körpertemperatur und der Übung auf den Stoffverbrauch bei Ruhe und Muskelarbeit. Ebenda S. 192.

2) Hinsichtlich genauerer Beschreibung cf. Zuntz-Lehmann, Der Stoffwechsel des Pferdes. Landwirtschaftl. Jahrbücher 1889, S. 1.

belasteten und unbelasteten Tieres, sowie der Zugarbeit möglich. Man muß bei ihrer Benutzung darauf achten, daß die Tiere nicht etwa mit Hilfe eines Halsbandes oder Zügels, an dem sie befestigt sind, sich ziehen lassen. In diesem Falle leisten sie erheblich weniger Arbeit, als der Apparat anzeigt.

An Pferden sind zahlreiche Arbeitsversuche mit Hilfe des auch in der landwirtschaftlichen Praxis viel benutzten Göpels angestellt worden. Die genaue Berechnung der Arbeit ist hierbei durch den schrägen Zug des Pferdes erschwert. Bei dem von Emil Wolff[1]) in Hohenheim benutzten Bremsgöpel befand sich in der Achse des Apparates ein System gegeneinander reibender Eisenplatten, durch deren verschiedene Lagerung der beim Zuge des Pferdes zu überwindende Widerstand in weiten Grenzen verändert werden konnte. Der Zug selbst wurde dadurch gemessen, daß das Pferd nicht direkt am Göpelbalken angespannt wurde, vielmehr an einem mit der Göpelstange verbundenen Winkelhebel, an dessen anderem Arme

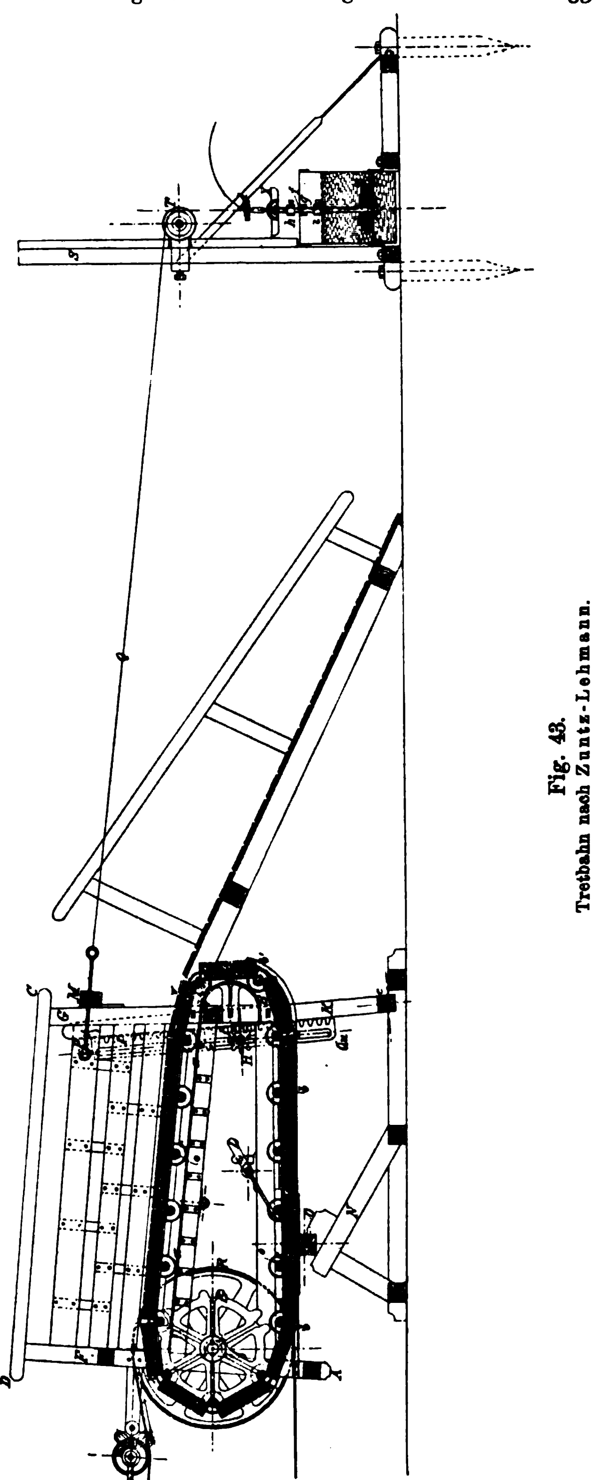


Fig. 43.
Tretbahn nach Zuntz-Lehmann.

1) Grundlagen für die rationelle Fütterung des Pferdes. Berlin, Paul Parey 1885.

ein Gewicht hing, das durch den Pferdezug gerade in der Schwebe gehalten wurde. Solange dieses Gewicht in der Schwebe blieb, war der Zug des Pferdes ihm gleich. Praktisch erwies sich diese Meßmethode als wenig genau. Besonders unsicher bleibt dabei der Anteil der Arbeit, welcher für die Ortsbewegung des Tieres aufzuwenden ist. Kellner[1]) hat diesen Anteil durch eine Berechnung aus den Lageveränderungen der einzelnen Glieder des Tieres beim Gehen festzustellen gesucht. Grandeau und Leclerc[2]) ermittelten den Stoffverbrauch eines hinter dem ziehenden Tier leer gehen-

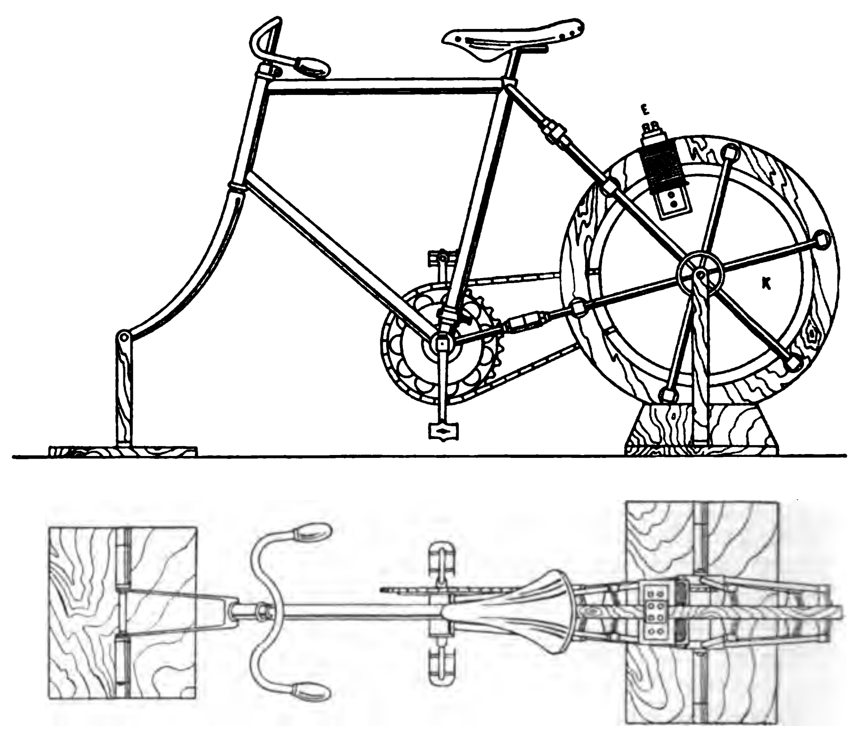


Fig. 44.
Arbeitsmesser nach Atwater-Benedict. E. Elektromagnet. K. Kupferscheibe.

den Tieres zur Abschätzung dieses Anteils der Arbeit. Dieselben Forscher haben an Stelle des von Wolff verwandten Zugmessers einen sehr ingeniös ausgedachten Registrierapparat angewandt, welcher wesentlich genauere Resultate lieferte, aber doch die Unsicherheiten, welche aus dem schiefen Zug des Tieres und der mangelhaften Abschätzung des Aufwandes für die freie Bewegung resultierten, nicht beseitigen konnte. Auf alle Fälle ist die Tretbahn ein sehr viel genauerer Meßapparat für tierische Arbeit, und sie hat vor allem den Vorzug, daß sie nicht nur Zugarbeit, sondern auch jede andere Form derselben auszuwerten gestattet.

1) Landwirtschaftl. Jahrbücher Bd. 9, S. 658, 1880.
2) Annales de la science agronomique I. Bd., S. 464, 1889.

Bei den ausgedehnten Untersuchungen von Atwater und Benedict, die später von Benedict unter Mitarbeit von Carpenter fortgesetzt wurden [1]), diente ein stationäres gebremstes Zweirad als Arbeitsmaschine. Den Bau des Apparates zeigt Fig. 44. Die in üblicher Weise von den Pedalen mit Hilfe einer Kette angetriebene Hinterachse des Zweirades trägt eine Kupferscheibe k, die sich in einem Holzrahmen bewegt. An diesem Holzrahmen ist ein Elektromagnet E angebracht, durch dessen Drahtwindungen Ströme von abstufbarer Stärke hindurchgeschickt werden können. Der Elektromagnet induziert in der rotierenden Scheibe Ströme, welche eine hemmende Wirkung auf die Rotation ausüben, die um so stärker ausfällt, je stärker der Magnetismus und je schneller die Umdrehung ist. Durch

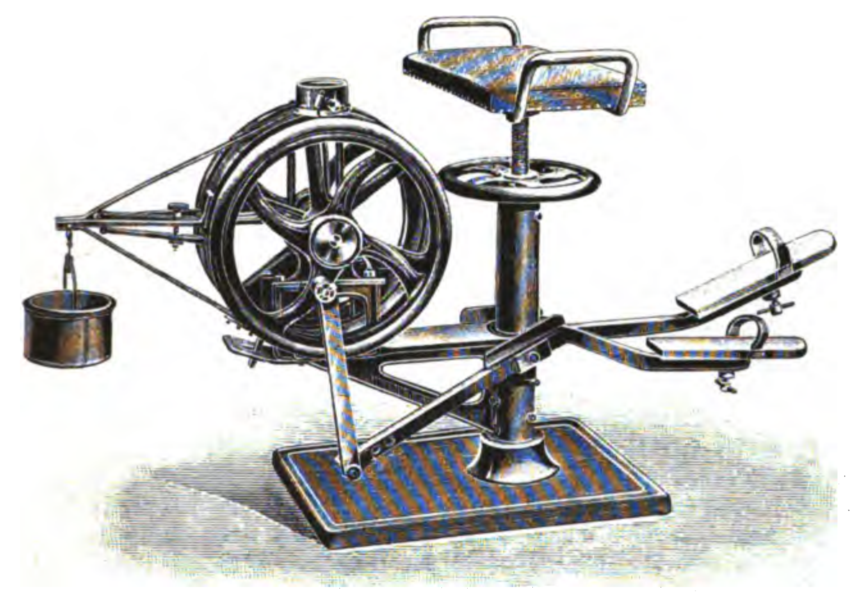


Fig. 45.
Ergometer für die unteren Extremitäten.

Eichung im Respirationskalorimeter wird für die verschiedenen Geschwindigkeiten und für die verschiedenen Stärken des Stromes in der Magnetspule die Wärmeentwicklung bestimmt, so daß man die Arbeit, die der das Zweirad antreibende Mensch leistet, direkt in Kalorien ausdrücken kann. Indem man diese Wärme mit der gesamten bei einem Arbeitsversuch vom Kalorimeter angezeigten Wärme vergleicht, ergibt sich der Nutzeffekt der Arbeit.

Das Prinzip des Zuntzschen Bremsergometers ist von dem Mechaniker Voigt auch für die Arbeit der unteren Extremitäten verwandt worden. Gebrauch und Anordnung des Apparates ergibt sich wohl zur Genüge aus beifolgender Abbildung. (Fig. 45.) Zu wissenschaftlichen Arbeiten hat derselbe bisher unseres Wissens noch nicht gedient.

1) Benedict und Carpenter, The influence of muscular and mental work on metabolism. Washington 1909, S. 13.

Körperwägungen und Perspiration.

Wenn auch die Resultate der Körperwägungen nicht immer eindeutig sind und die Änderungen des Gewichtes viel häufiger durch solche des Wassergehaltes des Körpers als der Menge seiner festen Bestandteile bedingt werden, sind doch regelmäßige Wägungen bei Stoffwechselversuchen nicht zu entbehren. Sie lassen sichere Schlüsse in bezug auf die genügende, eventuell überschüssige Nahrungszufuhr zu, wenn man die Bedingungen, welche den Wassergehalt des Körpers beeinflussen, genügend berücksichtigt. Wenn bei überschüssiger Ernährung ein Fettansatz stattfindet, so wird dadurch der Wassergehalt des fettfrei gedachten Gewebes nicht wesentlich geändert. Dagegen bedingt eine Änderung im Glykogengehalt der Organe auch erhebliche Änderungen in ihrem Wassergehalt, da das Glykogen nur in gequollenem Zustande mit seinem drei- bis vierfachen Gewicht Wasser zur Anlagerung kommt. Weiter hat der Salzgehalt des Körpers erheblichen Einfluß, indem überschüssige Salzmengen erhebliche Ansammlungen von Wasser zur Folge haben, da die Salze stets soweit verdünnt werden, daß der normale osmotische Druck im Körper gewahrt bleibt. Die Wirkungen überschüssiger Salzzufuhr sind ebenso wie die abnorm reichlichen Trinkens nur vorübergehende, da gesunde Nieren innerhalb von etwa 24 Stunden den Überschuß aus dem Körper schaffen.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß eine bestimmte Änderung des Körpergewichtes durch sehr verschieden große Differenzen zwischen Energiezufuhr und Energiebedarf herbeigeführt werden kann. Wenn die Gewichtsänderung ausschließlich durch Fett bedingt ist, so bedeutet 1 g einen Unterschied in der Energiezufuhr von etwa 9 Kal., bei Änderungen des Glykogengehaltes dem Gesagten zufolge nur etwa 1 Kal. Ähnlich gering ist die Nährstoffmenge, die bei der Gewichtsänderung durch Ansatz oder Abgabe stickstoffhaltiger Substanz (Körperfleisch) in Betracht kommt. 1 g Eiweiß entspricht etwa 5,5 Kal. Da das Fleisch aber mit wenigstens seinem vierfachen Gewicht an Wasser angesetzt wird, genügt schon 1,1 Kal. für eine Gewichtsänderung um 1 g. Man wird einigermaßen beurteilen können, welchem Energiewert die beobachtete Gewichtsänderung entspricht, wenn man darauf achtet, ob im Kohlehydratgehalt der Nahrung erhebliche Schwankungen eingetreten sind. Gibt man z. B. nach einer kohlehydratarmen Kost eine stark kohlehydratreiche Nahrung, so wird Glykogen angelagert werden. Der Glykogenansatz bedingt aber auch zugleich eine erhebliche Anreicherung an Wasser, so daß das Körpergewicht weit erheblicher zunimmt, als dem Ansatz an trockner Organsubstanz entspricht. Umgekehrt sinkt bei Übergang zu kohlehydratarmer Kost (z. B. bei Entfettungskuren) das Körpergewicht anfangs sehr erheblich, weil Glykogen und mit ihm sein mehrfaches Gewicht an Wasser zu Verlust geht.

Man muß ferner berücksichtigen, daß angestrengte Muskeltätigkeit einen sehr starken Verbrauch der Kohlehydrate zur Folge hat, der bei ausreichender Ernährung erst innerhalb 48 Stunden wieder ganz ersetzt wird, und daß überschüssige Nahrung bei älteren Individuen vorwiegend in Form von Fett, bei jüngeren und Rekonvaleszenten nach größeren Stoffeinbußen zu einem großen Teil in Form von Eiweiß (Fleisch), also mit einer viel größeren Gewichtszunahme angesetzt wird.

Wenn wir regelmäßige Körperwägungen verbinden mit genauer Feststellung des Gewichtes sämtlicher fester und flüssiger Einnahmen und Ausgaben, so haben wir die Daten für die insensible Perspiration. Dieselbe kommt bekanntlich im wesentlichen durch Verdampfen von Wasser zustande. Nur einen kleinen Anteil am Gewichtsverlust hat das meist vorhandene Übergewicht der Kohlensäureausscheidung in der Atemluft über die Sauerstoffaufnahme.

Der insensible Wasserverlust wird teils durch die Atmung, teils durch die Hauttätigkeit vermittelt. Da die Haut an sich wenig durchgängig für Wasser ist, hängt die Wasserabgabe derselben hauptsächlich von der Tätigkeit der Schweißdrüsen ab. Deren Sekret ist aber nicht reines Wasser, enthält vielmehr nicht unerhebliche Mengen von Harnstoff und anderen stickstoffhaltigen Produkten sowie Salzen, beim Pferde auch geringe Mengen von Eiweiß. Es beeinflußt daher die Hauttätigkeit die Bilanz des Stickstoffs und der Mineralstoffe. Beim Menschen finden wir den Stickstoffgehalt des Schweißes wechselnd zwischen 0,14 und 0,57 g N pro Kilogramm Schweißwasser. Da bei Anstrengungen im Sommer leicht 3 l Schweiß zur Abscheidung kommen, kann es nicht wundernehmen, daß Werte bis zu 1,5 g N pro Tag im Hautsekret gefunden worden sind. Der Hautoberfläche entsprechend größere Mengen kommen bei Pferden in Betracht, während bei Fleischfressern der Schweiß eine so untergeordnete Rolle spielt, daß man ihn nicht zu berücksichtigen braucht. Zur genauen Bestimmung des Stickstoffverlustes durch die Haut bedient man sich am besten der von Pflüger und Argutinsky[1]) angegebenen Anordnungen. Nach gründlicher Abwaschung des Körpers wird gut hygroskopisches, aufs sorgfältigste ausgewaschenes Unterzeug angelegt und bei starkem Schwitzen darüber noch ein ebenfalls waschbarer und vor dem Versuch ausgewaschener Anzug. Nach Beendigung der Versuchszeit wird der ganze Körper mit zweckmäßig etwas angesäuertem warmem Wasser abgewaschen, die Kleidung und das zum Abwischen des Schweißes benutzte Taschentuch in wiederholt erneutem, ebenfalls schwach angesäuertem Wasser so lange ausgewaschen, bis das letzte Wasser keine merklichen Mengen Stickstoff oder Chlor enthält. Die vereinigten Waschwässer werden nach Zusatz einiger Tropfen Säure auf ein kleines Volumen eingedampft und analysiert.

Solange die Ernährung und Lebensweise eines Menschen eine gleichmäßige ist, darf man wohl annehmen, daß auch der Prozentgehalt des Schweißes an Stickstoff und Salzen annähernd derselbe bleibt. Wo es nicht auf höchste Genauigkeit ankommt, kann man die ständige direkte Bestimmung der Ausscheidungen ersparen, wenn man den Anteil des Schweißes an der insensiblen Perspiration berechnet und den in einigen Fällen bestimmten Prozentgehalt des Schweißes der weiteren Berechnung zugrunde legt.

Um den Anteil des Schweißes an der insensiblen Perspiration festzustellen, haben wir uns folgender Rechnung bedient[2]).

Da die Exspirationsluft für 37° mit Wasserdampf gesättigt ist, enthält sie im Liter 43,95 mg. Wasser. Wenn wir nun die Feuchtigkeit der einge-

1) Die Stickstoffausscheidung durch den Schweiß. Pflügers Archiv Bd. 46, S. 594.
2) Zuntz, Loewy, Müller, Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen, Bong & Co., Berlin 1906, S. 378ff.

atmeten Luft kennen, so ergibt die Differenz des Wasserdampfgehaltes der Exspirationsluft und Inspirationsluft den Wasserverlust des Körpers auf dem Wege der Atmung für jeden Liter ausgeatmeter Luft. Um nun die gesamte Wasserdampfabgabe durch die Lungen pro Tag festzustellen, müssen wir die während des Tages ausgeatmete Luftmenge kennen. Hierzu dient uns die Kenntnis des respiratorischen Stoffwechsels der Versuchsperson, aus dem wir zu ersehen imstande sind, wieviel Sauerstoff von der Person aufgenommen und wieviel Kohlensäure exspiriert wurde.

Wo dies Material nicht vorhanden ist, können wir die Größe der täglichen Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung aus der Nahrungsaufnahme berechnen, und zwar am einfachsten bei Konstanz des Körpergewichts und der Stickstoff-Bilanz, wenn also die aufgenommene Nahrung gleich dem Umsatze im Körper ist. Denn wir wissen, daß dann auf je 1 g umgesetzten Stickstoff ein Verbrauch von 5,8 l O_2, eine Bildung von 4,6 l CO_2 und 27 Kal. kommt, daß 1 g Fett (in Gestalt von Butter) zur Oxydation 1,994 l O_2 braucht, 1,401 l CO_2 und 9,23 Kal. liefert, ebenso 1 g Kohlehydrate (Stärke) 0,812 l O_2 braucht, das gleiche Volumen CO_2 und 4,1 Kal. liefert, 1 g Alkohol 1,43 l O_2, 0,953 l CO_2 und 6,93 Kal.

Aus diesen Daten läßt sich dann mit Leichtigkeit bei einer analysierten Nahrung ermitteln, wieviel Liter Sauerstoff am Tage aufgenommen und wieviel Liter Kohlensäure ausgeschieden worden sind. Die weitere Berechnung wird wohl am besten an einem Beispiel klar, welches wir der oben zitierten Stelle entnehmen.

Es betrug dort in einem Versuche die Gesamtaufnahme des Tages an O_2 548,6 l, die CO_2-Ausscheidung 441,3 l. Aus den Respirationsversuchen ging hervor, daß bei der Versuchsperson auf 1 l aufgenommenen Sauerstoffs 21 l Lungenventilation kamen, also auf 548 l 11508 l Atemluft. Die eingeatmete Luft des betreffenden Tages zeigte eine durchschnittliche Temperatur von 22° und eine relative Feuchtigkeit von 63%. 1 l Luft bei 22° mit Wasserdampf gesättigt enthält 19,32 mg Wasserdampf; 63% dieser Menge = 12,17 mg Wasser waren in 1 l eingeatmeter Luft vorhanden.

Demgemäß entzieht jedes Liter Atemluft dem Körper 43,95—12,17 = 31,78 mg Wasserdampf und die in 24 Stunden geatmeten 11508 l Luft:
11508 × 31,78 mg . . . . 366 g

Außer durch Wasserdampfabgabe hat der Körper durch Kohlensäureausscheidung und Sauerstoffaufnahme an Gewicht verloren:

Die ausgeatmeten 441,3 l Kohlensäure wiegen . . . . 441,3 × 1,966 g = 867,6 g

Die eingeatmeten 548,6 l Sauerstoff wiegen . . . . 548,6 × 1,43 g = 784,5 g

Differenz = 83,1 g

Der gesamte Gewichtsverlust durch die Lungen beträgt also 83,1 + 366 = 449,1 g

Die gesamte Perspiration, d. h. der Gewichtsverlust des Körpers durch die unsichtbaren Ausscheidungen betrug nun an diesem Tage 1879 g. Da der Verlust durch die Lungen 449,1 g oder rund 450 g beträgt, sind durch die Haut verdunstet . . . . 1429 g

Der Gewichtsverlust des Körpers berechnete sich wie folgt:

Körperwägung am 10. VIII. morgens 6 Uhr .	60670 g
„ „ 11. VIII. „ 6 „ .	60290 „
Gewichtsabnahme	380 „
Aufnahme von fester und flüssiger Nahrung .	2436 „
Summa	2816 g
Gewicht von Harn und Kot	937 „
Körpergewichtsverlust (Perspiration) wie oben	1879 „

Diese Berechnung des Anteils des Schweißes an der insensiblen Perspiration gibt uns die Möglichkeit, bei der Stickstoff-Bilanz den Schweißverlust wenigstens einigermaßen mit in Rechnung zu stellen, und so gar zu große Fehler zu vermeiden.

In bezug auf Wägungen sei nur kurz erwähnt, daß zur Abwiegung von Speisen am besten kleine Balkenwagen gewählt werden, welche eine Genauigkeit der Wägung bis zu 0,1 g gestatten. Bei den Mengen des Futters der großen Herbivoren wird sich natürlich die Verwendung einer Dezimalwage nicht vermeiden lassen. Auch für die Körperwägungen empfiehlt es sich, wenn irgend angängig, Balkenwagen zu verwenden, etwa in Form der auf Rennplätzen üblichen Jockeywagen. Die Firma Garvens, Hannover, liefert derartige Wagen von ziemlicher Exaktheit.

Eine besonders weitgehende Genauigkeit für Wägungen des Menschen bietet die Wage von Warren Lombard[1]). Dies ist dadurch erreicht, daß die Schneide des Wagebalkens nicht ihrer ganzen Länge nach fest aufliegt, sondern an beiden Enden auf Lagern ruht, die ihrerseits in der zur Richtung der Schneide des Wagebalkens senkrechten Ebene beweglich sind. Die feinsten Ausschläge werden durch eine Feder gemessen und auf einem rotierenden Zylinder registriert. Lombard bringt auf seiner Wage die Gewichtsänderungen, welche einem einzigen Atemzug entsprechen, zur Darstellung.

Konservierung von Harn und Kot.

In den meisten Versuchen wird man darauf angewiesen sein, die Exkrete des Organismus zu konservieren, da man nur selten in der Lage sein wird, sogleich eine vollständige Analyse des Materials vorzunehmen.

Bei der Konservierung des Harnes kommt es darauf an, Substanzen zu wählen, welche den beabsichtigten Gang der späteren Analyse nicht stören. Man wird demzufolge unter Umständen einen Zusatz vermeiden, welcher wie das sonst sehr gut konservierende Fluornatrium, Mineralbestandteile in den Harn hineinbringt, oder wie Sublimat selbst im Harn Veränderungen zu erleiden scheint, oder wie z. B. Natriumsulfit einige Bestandteile des Harns zur Ausfällung bringt. In erster Linie wird es bei der Bedeutung, die für die heutige Methode des Stoffwechselversuches der Bestimmung des Brennwertes der Substanzen zukommt, darauf ankommen, eine gut konservierende Substanz zu wählen, welche den Brennwert nicht verändert, bezw. bei der Vorbereitung zur kalorimetrischen Bestimmung ent-

1) Warren P. Lombard, A Method of recording changes in body weight, which occur within short intervals of time. The journal of the American medical association, 1906, Bd. 47 S. 1790.

fernt wird. Als eine derartige Substanz hat sich nach den Versuchen von Cronheim[1]) das Thymol ergeben, welches wir denn auch stets zur Konservierung des Harns benutzen. Am besten verwendet man es in alkoholischer Lösung. Da die Löslichkeit des Thymol in Alkohol eine außerordentlich große ist, so genügen schon wenige Tropfen der Lösung, um große Quantitäten von Harn ausreichend zu konservieren. Wo man jedoch den Zusatz des Alkohol vermeiden will, kann man auch Thymol in Substanz verwenden. Wir hatten stets befriedigende Ergebnisse, wenn die Substanz aufs feinste gepulvert verwandt wurde. Den so konservierten Harn bewahrt man in gut, am besten nach Art von Bierflaschen mit Bügelverschluß verschlossenen Flaschen auf. Auf diese Weise hat sich selbst Harn, der uns aus den Tropengegenden Afrikas zugesandt wurde, monatelang tadellos gehalten.

Sehr viel schwieriger ist die Konservierung des Kotes. Nach den Untersuchungen von Zaitschek[2]) läßt sich beim Trocknen ein mehr oder weniger erheblicher Verlust an Stickstoff überhaupt nicht vermeiden. Man tut daher am besten, die Stickstoffbestimmungen, falls dies möglich ist, am frischen Kot vorzunehmen.

Für die Bestimmung des Fettes, Brennwerts etc. muß der Kot dann allerdings getrocknet werden. Um nach Möglichkeit Verluste zu vermeiden, trocknen wir ihn in einem Vakuumapparat. Dieser ist heizbar, und zwar mit Wasser von beliebiger Temperatur oder mit Dampf. Wir benutzen zum Trocknen Temperaturen von 60—70°. Die Heizrohre sind so angeordnet daß die Substanz nicht nur von unten, sondern auch von oben her erwärmt wird. Etwaiger Verlust an Ammoniak kann durch Einbringen einer Schale mit Schwefelsäure und Untersuchung derselben, sowie des in einer Vorlage kondensierten Wasserdampfs bestimmt werden.

Der getrocknete Kot läßt sich in fest verschlossenen Pulverflaschen ohne weiteres aufbewahren.

Ist man genötigt, den Kot in frischem Zustande zu konservieren, so verwendet man nach unserer Erfahrung am besten eine Mischung von Alkohol und Chloroform, welche auch den üblen Geruch höchst wohltätig beeinflußt. Der Kot wird dann am besten sogleich in die zur Aufbewahrung dienenden Blechbüchsen entleert. Hierzu benutzten wir luftdicht verschließbare Konservenbüchsen, deren Deckel durch Klammern fest gegen einen Gummiring gepreßt wird.

---

1) Konservierung von Harn für analytische und kalorimetrische Zwecke. Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1902, S. 262.

2) Zur Methodik der Bestimmung des Stickstoff- und Eiweißgehaltes der Faeces. Pflügers Archiv 1903, Bd. 98, S. 595.

II.

Respirationsapparate

von

Robert Tigerstedt in Helsingfors.

(Mit 52 Textfiguren.)

Einleitung.

Bei seinen teilweise im Verein mit Laplace und Seguin ausgeführten Versuchen über die Respiration benutzte Lavoisier folgende Methoden.

1. Er schloß einen Sperling in eine durch Quecksilber abgeschlossene und mit gewöhnlicher Luft gefüllte Glasglocke von 31 Kub.-Zoll Inhalt ein und ließ das Tier dort bis zum Tode bleiben. Danach wurde einer Probe der rückständigen Luft kaustisches Alkali hinzugetan und dadurch die gebildete Kohlensäure resorbiert; der Gehalt der Luft an diesem Gas betrug fast $^1/_6$ des ursprünglichen Luftvolumens.

Im Verein mit Laplace wendete er die gleiche Methode auch am Meerschweinchen an, nur war die Glocke mit reinem Sauerstoff gefüllt und hatte einen Inhalt von etwa 250 Kub.-Zoll. Auch blieb das Tier nicht bis zum Tode in der Glocke, sondern wurde nach einiger Zeit lebend herausgenommen. Das Hineinbringen wie die Herausnahme des Tieres fand durch das Quecksilber hindurch statt. Nach beendigtem Versuch wurde die in der Glocke vorhandene Kohlensäure durch kaustisches Alkali resorbiert und die dadurch bewirkte Volumenabnahme notiert.

2. Ebenfalls im Verein mit Laplace schloß Lavoisier ein Meerschweinchen in einen Behälter ein, durch welchen während des Versuches Luft ununterbrochen geleitet wurde. In einem „zu diesem Zwecke sehr bequemen Apparate“ wurde die Luft komprimiert und durch eine gläserne Röhre in das Gefäß getrieben. Durch eine andere U-förmig gebogene Röhre trat die Luft aus dem Gefäß heraus und mußte dann zwei nacheinander geschaltete Flaschen mit kaustischem Alkali passieren, worin die Kohlensäure absorbiert und durch Wägen der Flaschen bestimmt wurde. Der vom Tier abgegebene Wasserdampf wurde in der U-förmigen Röhre kondensiert, was nach dem Dafürhalten der Autoren so vollständig stattfand, daß die Gewichtszunahme der Absorptionsflaschen ausschließlich auf Rechnung der Kohlensäure gebracht werden konnte.

3. Im Verein mit Seguin schloß Lavoisier ein Meerschweinchen in ein Gefäß mit reinem Sauerstoff ein; der Verschluß wurde hier durch Wasser

hergestellt. Das Tier ruhte auf einem Boden 6 bis 8 Zoll oberhalb der Wasseroberfläche. Durch kaustisches Alkali wurde die Kohlensäure absorbiert, je nachdem sie vom Tiere abgegeben wurde, und von Zeit zu Zeit wurde der verbrauchte Sauerstoff durch Zufuhr von bekannten Mengen reinen Sauerstoffs ersetzt.

4. Bei seinen im Verein mit Seguin am Menschen ausgeführten Versuchen benutzte Lavoisier eine Art von Gesichtsmaske, in welcher der Kopf der Versuchsperson vollständig eingeschlossen war. Selber beschrieb Lavoisier diese Methode nicht näher; Seguin hat aber darüber folgende Beschreibung mitgeteilt.



Fig. 1.
Lavoisiers Versuchsanordnung.

Ich füllte eine große Glocke mit atmosphärischer Luft. Die aus Kupfer hergestellte Maske wurde angelegt und um den Hals herum luftdicht gekittet. Die vordere Hälfte der Maske stand durch eine Röhre mit der Glocke in Verbindung. Je nachdem das Luftvolumen in der Glocke abnahm, wurden neue Luftmengen der gleichen Zusammensetzung hinzugelassen, so daß die Sperrflüssigkeit der Glocke immer auf demselben Niveau stand. Die exspirierte Luft wurde durch Flaschen mit kaustischem Alkali geleitet.

In seinem Buch über Lavoisier hat Grimaux Faksimiles nach zwei Lavierungen mitgeteilt, wo die Gattin Lavoisiers die Versuchsanordnung bei den betreffenden Versuchen abgebildet hat. Diese Zeichnungen, von welchen die eine in Fig. 1 wiedergegeben ist, stimmen mit der Beschreibung Seguins vollständig überein, geben uns indessen keine nähere Kenntnisse der Einzelheiten, z. B. wie die inspirierte Luft von der exspirierten getrennt wurde, ob dies mittels Hähne oder durch selbsttätige Ventile stattfand.

Die vier Methoden, die Lavoisier benutzt hatte, blieben für die gesamte künftige Methodik maßgebend. Seine zweite Methode ist vor allem von

Pettenkofer zu großer Vollendung gebracht worden; seine dritte Methode ist das Vorbild der von Regnault ausgearbeiteten und von vielen späteren Autoren weiter ausgebildeten Methode gewesen; und die vierte Methode ist gleichfalls in vielen Modifikationen bis zu der letzten Zeit in großem Umfange angewendet worden.

Bei allen Untersuchungen über den respiratorischen Gaswechsel, einschließlich des Gaswechsels durch die Haut, kommen vor allem die Sauerstoffaufnahme, die Kohlensäureabgabe und die Abgabe von Wasserdampf in Betracht, und ein vollständiger Versuch muß daher alle diese drei Quantitäten berücksichtigen. Es bietet indessen bei den meisten Methoden mehr oder minder große Schwierigkeiten, die Sauerstoffaufnahme und die Abgabe von Wasserdampf zu bestimmen, und man hat sich daher, sowohl in älterer als in neuerer und neuester Zeit, vielfach mit der alleinigen Bestimmung der Kohlensäureabgabe begnügen lassen. Daß hierdurch eine Unvollständigkeit in den tatsächlichen Aufschlüssen entsteht, ist ohne weiteres ersichtlich.

Welche Bedeutung hat dann die alleinige Bestimmung der Kohlensäureabgabe?

Die vom Körper abgegebene Kohlensäure stammt zum Teil aus dem zersetzten Eiweiß, zum Teil aus zersetzten Fetten und Kohlehydraten. Bei länger dauernden Versuchen, wo die N-abgabe im Harn unschwer bestimmt werden kann (der Einfachheit wegen wird der Kot als reiner Verlust der aufgenommenen Nahrung aufgefaßt), läßt sich die dem zersetzten Eiweiß entsprechende Kohlensäuremenge leicht berechnen, da wir wissen, daß im Eiweiß N : C gleich 1 : 3,28 ist, sowie daß im Harn auf 1 g N rund etwa 0,61 g C kommt: also wird die aus Eiweiß stammende Kohlenstoffmenge in der exspirierten Luft pro 1 g N im Harn 2,67 g betragen, und die gesamte abgegebene Kohlensäure minus $2{,}67 \times N \times {}^{11}/_{3}$ stellt also die durch Zersetzung von Fetten und Kohlenhydraten entstandene Kohlensäure dar; dieser Rest ist auf diese beiden Gruppen von Nahrungsstoffen zu verteilen.

Wo die Stickstoffabgabe im Harn nicht bestimmt wird, sollte dennoch die abgegebene Kohlensäure auf alle drei Gruppen von Nahrungsstoffen verteilt werden. Es handelt sich aber in der Regel um einen verhältnismäßig geringen Fehler, wenn in diesen Fällen aller Kohlenstoff als aus N-freien Nahrungsstoffen stammend aufgefaßt wird, denn z. B. bei der gewöhnlichen Kost des Menschen beträgt die Energieentwicklung aus Eiweiß nur etwa $^1/_5$ der gesamten Energieentwicklung (vgl. auch unten S. 74 über den Brennwert der abgegebenen Kohlensäure). Wenn aber das Eiweiß in großer Menge aufgenommen wird, wie z. B. bei reiner Fleischdiät beim Hunde, ist es bei der Durchführung der hierhergehörigen Versuche notwendig, den Einfluß des zersetzten Eiweißes auf die Kohlensäureabgabe genau zu berücksichtigen, was sich mit genügender Exaktheit nur bei gleichzeitiger Bestimmung der N-abgabe im Harn durchführen läßt.

Die Verteilung des ausgeschiedenen Kohlenstoffes auf Fett und Kohlehydraten, d. h. $C_{tot} = C_{Fett} + C_{Kh}$, ist an und für sich nicht ausführbar, da wir ja hier eine Gleichung mit zwei unbekannten haben. Darum kann man indessen nicht sagen, daß die alleinige Bestimmung der Kohlenstoffabgabe völlig wertlos sei, denn jedenfalls müssen doch Veränderungen ihrer Größe,

besonders wenn sie nicht zu klein sind, in vielen Fällen als Ausdruck von Veränderungen der im Körper stattfindenden Verbrennung dienen können.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Kohlensäureabgabe, pro Stunde und kg Körpergewicht berechnet, beim erwachsenen Menschen nur innerhalb ziemlich enger Grenzen variiert, wenn sich das Individuum möglichst ruhig verhält und seit etwa 12 Stunden nichts genossen hat. Die Zahl der einschlägigen Beobachtungen ist so groß, daß wir ohne Bedenken den Einfluß der Zufälligkeiten gänzlich ausschließen können. Da wir andererseits uns nicht gut vorstellen können, daß die gesamte Wärmebildung im Körper unter möglichst gleichen Umständen und vor allem bei dem hier berücksichtigten Zustand bei verschiedenen Individuen größere Variationen darbieten würde — was auch durch direkte kalorimetrische Bestimmungen bestätigt wird —, folgt, daß die vom Körper abgegebene Kohlensäure in diesen Fällen den gleichen Nahrungsstoffen in etwa gleicher gegenseitiger Menge entstammen muß.

Wenn nun infolge eines Eingriffes, welcher die Zusammensetzung des Körpers und der zu seiner Verfügung stehenden Nahrungsstoffe nicht verändert, eine Veränderung der Kohlensäureabgabe erscheint, so stellt diese Veränderung unbedingt den Beweis dafür dar, daß sich die Verbrennung im Körper in entsprechender Richtung verändert — ab- oder zugenommen — hat. Nur betreffend die absolute Größe dieser Veränderung kann man im Zweifel sein, da es ja nicht ausgeschlossen ist, daß der gegenseitige Anteil des Fettes und der Kohlehydrate an der Verbrennung jetzt eine andere als im Beginn des Versuches geworden sein kann. Es bleibt also auch in diesem verhältnismäßig einfachen Falle bei der alleinigen Bestimmung der Kohlensäure eine Unsicherheit bestehen, die sich nicht vermeiden läßt.

Bei Aufnahme von Nahrung stellen sich die Verhältnisse in vielen Fällen noch komplizierter. Eine reiche Erfahrung hat ergeben, daß bei Zufuhr von Kohlehydraten diese vor dem Fette angegriffen werden, und daß, bei längeren Perioden (24 Stunden) wenigstens, die gesamten vom Darme aufgesaugten Kohlehydrate vor dem Nahrungsfett und dem Körperfett verbrannt werden.

Nun ist der Verbrennungswert für 1 g Kohlensäure wesentlich verschieden je nachdem sie aus Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten stammt, nämlich bezw. 2,84, 3,37, 2,57 Kal. Im nüchternen Zustande lebt der Körper zum großen Teil auf Kosten seines Fettes. Bei Aufnahme von Kohlehydraten verdrängen diese zum großen Teil das Fett. Selbst wenn keine Zunahme der absoluten Wärmebildung hierbei stattfinden würde, muß daher jedenfalls die Kohlensäureabgabe ansteigen, und zwar in einem extremen Falle, wenn vor der Nahrungsaufnahme nur Fett und nach der Nahrungsaufnahme nur Kohlehydrate verbrannt werden, um nicht weniger als etwa 24 Proz. Unter diesen Umständen begegnet es daher großen Schwierigkeiten, aus der alleinigen Bestimmung der Kohlensäure zu entscheiden, ob, in welchem Umfange und in welcher Richtung die Verbrennung im Körper sich verändert hat.

Sicherere Resultate lassen sich bei Versuchen von etwa 24 Stunden Dauer erzielen, wenn dabei nicht allein die Kohlensäureabgabe, sondern auch die Menge und Zusammensetzung der Kost und des Kotes sowie die N- (und C-) Abgabe im Harn bestimmt werden. Aus dem Vergleich der Einnahmen mit

den Ausgaben im Kot findet man dann die Größe der im Darme stattgefundenen Aufsaugung von Eiweiß, Fett und Kohlehydraten.

Die N-Menge im Harn ergibt die Menge von zersetztem Eiweiß und läßt uns den aus diesem stammenden Kohlenstoff in der exspirierten Luft berechnen. Der übrige Kohlenstoff, der aus Fetten und Kohlehydraten stammt, läßt sich dann auf diese beide verteilen, wenn man annimmt, daß in erster Linie die aufgesaugten Kohlehydrate und dann erst die Fette zugrunde gegangen sind.

Daß diese Berechnungsart berechtigt ist und daß man also unter den hier berücksichtigten Umständen dadurch zu ganz befriedigenden Resultaten kommen kann, geht direkt aus den zahlreichen Versuchen hervor, bei welchen Atwater und Benedict (5) den Stoffwechsel wie hier angegeben wurde und gleichzeitig die dabei stattfindende Wärmeabgabe kalorimetrisch bestimmten: die Übereinstimmung zwischen der aus dem Stoffwechsel berechneten Wärmebildung und der direkt bestimmten Wärmeabgabe war so genau, wie man es sich nur wünschen konnte.

Ein Stoffwechselversuch, bei welchem alle Einnahmen und Ausgaben mit Ausnahme des Sauerstoffverbrauches und der Abgabe von Wasserdampf bestimmt wurden, kann also im großen und ganzen sehr befriedigende Resultate geben.

Bei Versuchen von kurzer Dauer, wo weder die Kost noch der Kot oder Harn in Betracht gezogen werden können und wo also nur die Kohlensäureabgabe bestimmt wird, dürfte in vielen Fällen vorteilhaft sein, die von Benedict und Milner (6, S. 209) auf Grund ihrer respirations-kalorimetrischen Untersuchungen gefundenen kalorischen Werte der Kohlensäure unter verschiedenen Bedingungen zu benutzen, weshalb ich sie hier zusammenstelle.

Charakteristik	Für 1 g CO_2; Kal.			Für 1 g C	Zahl der Versuche
	Mittel	Maximum	Minimum	Kal. Mittel	
1. Ruheversuche bei kohlehydratreicher Diät; für 24 Stunden	2.89	2.99	2.83	10.60	5
2. Arbeitsversuche bei kohlehydratreicher Diät; für 24 Stunden	2.76	2.82	2.70	10.12	2
3. Arbeitsversuche bei fettreicher Diät; für 24 Stunden	3.04	3.09	2.99	11.15	3
4. Arbeitsversuche bei gew. Diät; für 24 Stunden	2.85	—	—	10.45	1
5. Ruheversuche bei knapper Diät; für 24 Stunden	3.12	3.24	2.88	11.44	10
1a Ruheversuche bei kohlehydratreicher Diät; 1—7 Uhr morgens	3.02	3.24	2.86	11.07	5
2a Arbeitsversuche bei kohlehydratreicher Diät; 1—7 Uhr morgens	2.87	2.98	2.78	10.52	2
3a Arbeitsversuche bei fettreicher Diät; 1—7 Uhr morgens	3.26	3.39	3.16	11.95	3
4a Arbeitsversuche bei gew. Diät; 1—7 Uhr morgens	3.27	—	—	11.98	1

Im Durchschnitt für 24 Stunden (Nr. 1—4) beträgt der kalorische Wert der Kohlensäure also 2.89 und der des Kohlenstoffes 10.58 Kal. Für die Zeit 1 bis 7 Uhr morgens ist der kalorische Wert für 1 g Kohlensäure im Mittel 3.11 und für 1 g Kohlenstoff 11.38 Kal. Vgl. auch die Angaben Benedicts über den kalorischen Wert der Kohlensäure bei hungernden Menschen (7, S. 506).

Wenn die Sauerstoffaufnahme gleichzeitig bestimmt werden kann, lassen sich, besonders wenn auch die N-Abgabe im Harn bestimmt wurde, viel richtigere Resultate erhalten. In diesem Falle kann, nach Abzug des dem zersetzten Eiweiß entsprechenden Sauerstoffs und Kohlenstoffs, vor allem der Anteil des Fettes und der Kohlehydrate an der Verbrennung genau berechnet werden.

Angenommen die Fette haben einen mittleren C-Gehalt von 76 Proz. und die Kohlehydrate (Glukose) einen von 40 %. Zur vollständigen Oxydation haben die Fette pro 1 g Substanz 2.887 g und die Glukose 1.067 g Sauerstoff nötig. Wir können also folgende Gleichungen aufstellen, wo C_{tot} und O_{tot} die direkt gefundenen Gesamtmengen des in der Atmung abgegebenen Kohlenstoffes, bezw. aufgenommenen Sauerstoffes, **x** die zugrunde gegangene Fettmenge und **y** die verbrannte Menge von Glukose (in g) bezeichnen.

$$\left.\begin{aligned} 0.76\,x + 0.40\,y &= C_{tot} \\ 2.887\,x + 1.067\,y &= O_{tot} \end{aligned}\right\}$$

Aus diesen Gleichungen erhalten wir

x (die verbrannte Fettmenge) $= 1.163\ O_{tot} - 3.102\ C_{tot}$

y (die verbrannte Glukosemenge) $= -2.210\ O_{tot} + 8.394\ C_{tot}$.

Wenn also die CO_2 Abgabe 400 l = 786.7 g mit 214.5 g C und die O_2 Aufnahme 500 l = 715.5 g ist, so beträgt die Menge des zersetzten Fettes, bezw. der zersetzten Glukose:

x (Fett) $= 1.163 \times 715.5 - 3.102 \times 214.5$
y (Glukose) $= -2.210 \times 715.5 + 8.394 \times 214.5$,
d. h. 166.7 g Fett mit 126.7 g C,
und 219.1 g Glukose mit 87.7 g C.

Die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme hat auch in der Beziehung eine große Bedeutung, daß der kalorische Wert des Sauerstoffes verhältnismäßig wenig wechselt, wenn er zur Oxydation von Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten benutzt wird (8, S. 29):

	Pro 1 g O Kal; nach			
	Loewy	Magnus-Levy	Pflüger	E. Voit
Eiweiß	3.14	3.00	3.32	3.28
Fett	3.28	3.27	3.29	3.27
Stücke oder Rohrzucker	3.53	3.56	3.53	3.53

Nach Pflüger und E. Voit ist der kalorische Wert des verbrauchten Sauerstoffes bei Eiweiß und Fett fast identisch, bei Kohlehydraten nur etwa 7 % größer. In Benedicts Versuchen (7, S. 506) betrug im Durchschnitt von 10 Versuchen bei gemischter Kost der kalorische Wert für 1 g aufgenommenen Sauerstoff 3.33 Kal, mit den Grenzwerten 3.46 und 3.24 Kal.

Endlich läßt sich auch aus dem respiratorischen Quotienten CO_2/O_2 die Wärmebildung unschwer berechnen. Wenn wir, wie bisher, fortfahrend annehmen, daß die N-Abgabe im Harn direkt bestimmt wurde und die dem zersetzten Eiweiß entsprechenden C- und O-Mengen in Abzug

gebracht worden sind, so wird der betreffende Quotient einzig und allein von Fett und Kohlehydraten beeinflußt. Beim Fett ist er 0.707, bei den Kohlehydraten 1.000. Da 1 l Sauerstoff 1.431 g wiegt, entsprechen 1 l verbrauchtem Sauerstoff bei Fett etwa 4.693 Kal. und bei Kohlehydraten 5.051 Kal. Solange es sich also nur um die genannten Stoffe handelt, ist der Brennwert pro 1 l Sauerstoff bei einem RQ von 0.707 gleich 4.693 und bei einem von 1.000 5.051 Kal. Das Anwachsen des respiratorischen Quotienten von 0.707 auf 1.000, d. h. um 0.293, erhöht also den Wärmewert pro 1 l. verbrauchten Sauerstoffes um 0.358 Kal. Auf einen Zuwachs des Quotienten um 0.01 entfällt eine Erhöhung des Wärmewertes pro l Sauerstoff um 0.358/29.3 = 0.0122 Kal. (Zuntz 9, S. 96).

In Versuchen, wo außerdem noch die Abgabe von Wasser sowohl in den festen und flüssigen als in den gasförmigen Exkreten bestimmt wurde, berechnen Benedict und Milner (6, S. 71) die Versuchsresultate folgendermaßen.

Die elementare Zusammensetzung der Körpersubstanzen ist in % durchschnittlich

	N	C	H	O	Asche
Eiweiß	16.67	52.80	7.00	22.00	1.53
Fett	—	76.10	11.80	12.10	—
Kohlehydrate (Stärke)	—	44.40	6.20	49.40	—
Wasser	—	—	11.19	88.81	—

Mit Vernachlässigung der Asche lassen sich aus diesen Daten folgende Gleichungen aufstellen, in denen **E**, **F**, **K** und **W** die vorhandenen Mengen von bezw. Eiweiß, Fett, Kohlehydraten und Wasser — alles in g — bezeichnen:

$$0.1667\ E = N$$
$$0.4440\ K + 0.7610\ F + 0.5280\ E = C$$
$$0.1119\ W + 0.0620\ K + 0.1180\ F + 0.0700\ E = H$$
$$0.8881\ W + 0.4940\ K + 0.1210\ F + 0.2200\ E = O$$

Aus diesen Gleichungen erhält man folgende Gleichungen für die einzelnen Nahrungsstoffe:

$$\text{Eiweiß} = 6.0\ N$$
$$\text{Fett} = 0.005\ C + 9.693\ H - 1.221\ O - 2.476\ N$$
$$\text{Kohlehydrate} = 2.243\ C - 16.613\ H + 2.093\ O - 2.892\ N$$
$$\text{Wasser} = -1.248\ C + 7.920\ H + 0.128\ O + 0.460\ N$$

In einem Hungerversuche (7 S. 38) wurden am ersten Tage vom Körper abgegeben 11.84 g N, 191.57 g C, 279.75 g H und 2703.57 g O; aufgenommen wurden 629.42 g O und der Verlust des Körpers an O betrug also 2074.15 g.

Wenn diese Zahlen in den obigen Formeln eingesetzt werden, finden wir, daß an diesem Tage 71.04 g Eiweiß, 150.72 g Fett, 89.16 g Kohlehydrate (Glykogen) im Körper umgesetzt worden sind und außerdem noch 2247.48 g Wasser von den Körperflüssigkeiten (kein Oxydationsprodukt) abgegeben worden sind.

Es kommen aber, wie selbstverständlich, Fälle vor, wo ein Ansatz von Eiweiß, Fett oder Kohlehydraten im Körper erfolgt ist. Ein Eiweißansatz geht aus der N-Bilanz hervor und es begegnet also keinen Schwierigkeiten, den entsprechenden C und O im Gaswechsel zu berechnen. Wenn das Nahrungsfett als solches oder Kohlehydrate als Glykogen angesetzt werden,

geht dies direkt daraus hervor, daß aus der zugeführten Nahrung C, H und O in entsprechenden Mengen im Körper zurückbehalten sind.

Findet aber eine Neubildung von Fett auf Kosten der Kohlehydrate statt, so steigt der respiratorische Quotient weit über 1.000.

In 191.35g Dextrose finden sich 76.54g C, 12.76g H und 102.05g O; in 100g Fett, nach Bleibtreu (10, S. 356), 76.54g C, 11.94g H und 11.52g O. Wenn die Dextrose in der Weise in Fett verwandelt wird, daß der gesamte Kohlenstoff ins neugebildete Fett übergeht, so bleiben von der Dextrose noch zurück 0.82g H und 90.53g O. Vom letzteren verbinden sich 6.56g mit dem Wasserstoff zum Wasser; der rückständige Sauerstoff, 83.97g, kann noch 78.71g weiteres Kohlehydrat vollständig verbrennen und liefert dabei 47.23g Wasser und 115.45g CO_2. Der ganze Vorgang verläuft also folgendermaßen:

270.06g Traubenzucker = 100g Fett + 54.61g Wasser + 115.45g Kohlensäure.

Ohne Sauerstoff aufzunehmen kann der Körper also bei der Bildung von 100g Fett aus Kohlehydraten 115.45g = etwa 591 Kohlesäure ausscheiden. Diese Kohlensäure, zu der sonst gebildeten addiert, muß natürlich den respiratorischen Quotienten wesentlich erhöhen, wie Bleibtreu durch Beobachtungen an gemästeten Gänsen direkt bestätigt hat.

Andererseits ist es möglich, daß bei einer eventuellen Kohlehydratbildung aus Fett sehr niedrige respiratorische Quotienten erscheinen, wie z. B. nach folgender Gleichung von Chauveau ersichtlich ist (11, S. 200):

$$2\ C_{57}H_{110}O_6 + 67\ O_2 = 16\ C_6H_{12}O_6 + 18\ CO_2 + 14\ H_2O$$

Hier wäre der respiratorische Quotient 18/67 = 0.268.

Damit habe ich indessen gar keine Stellung zu der Frage nehmen wollen, ob Fett als Glykogenbildner angesehen werden darf.

Erstes Kapitel.

Allgemeines über Respirationsapparate. — Ventile.

Bei allen Versuchen über den respiratorischen Gaswechsel, gleichgültig welche spezielle Methoden dabei in Anwendung kommen, müssen gewisse allgemeine Prinzipien beobachtet werden, deren Vernachlässigung die Genauigkeit der erzielten Resultate in hohem Grade vereiteln kann.

Es ist von vornherein klar, daß jede Undichtigkeit im Apparate sorgfältig vermieden werden muß. Zu diesem Zwecke müssen die Hähne gut geschliffen und gut gefettet sein; wo man darüber ganz sicher sein will, daß sie wirklich dicht schließen, benutzt man Hähne mit Quecksilberverschluß. Bei allen Verbindungen zwischen starren Röhren und Kautschukschläuchen müssen die letzteren mittels weichen Kupferdrahtes auf die Röhren fest zugebunden werden, denn sonst kann man nie sicher sein, daß die Schläuche wirklich schließen und daß sie nicht ventilartig die Luftbewegung in der einen Richtung verhindern, in der anderen aber gestatten.

An und für sich sind die Kautschukschläuche immer zu vermeiden, wo dies nur möglich ist. In sehr vielen Fällen ist man indessen gezwungen,

solche zu benutzen; dann muß man sich durch genaue Untersuchung von ihrer Güte vergewissern und nur Schläuche mit genügender Wandstärke wählen, sowie die Leitungen, wenn nur irgend möglich, unter Wasser bringen. Die austretenden Luftperlen zeigen dann augenblicklich an, ob irgendwo eine Undichtigkeit stattfindet.

Bei vielen Apparaten läßt es sich indessen nicht durchführen, zum größeren oder kleineren Teil die Vorrichtungen unter Wasser zu halten. Dann kann man ihre Dichtigkeit dadurch prüfen, daß man die ganze Luftmasse im Apparate durch Leuchtgas verdrängt und dann längs allen Teilen des Apparates eine brennende Kerze führt. (Vorsicht wegen Explosion!) Bei größeren Respirationsapparaten ist diese Probe nur in beschränktem Umfange möglich. Hier, wie übrigens auch bei den kleineren Apparaten, kann man zur Prüfung der Dichtigkeit, nach Verschluß aller Öffnungen, den Druck im Apparate etwas über den atmosphärischen Druck steigern, bezw. unter den atmosphärischen Druck senken, und an einem mit dem jetzt geschlossenen Systeme verbundenen Manometer beobachten, ob der hergestellte Druckunterschied bestehen bleibt oder nicht.

Durch Bestreichen mit Kopalfirnis werden die Schlauchverbindungen in der Luft viel dauerhafter als sonst.

Bei allen Versuchen über den respiratorischen Gaswechsel muß die Temperatur an genügend zahlreichen Orten innerhalb des Apparates gemessen werden. Auch kann man den ganzen Apparat in einer Wasserwanne mit konstanter Temperatur halten, bezw. durch besondere Vorrichtungen die Temperatur im Respirationsapparate selber auf einer bestimmten Gradzahl regulieren. Bei etwas größeren Apparaten ist es immer vorteilhaft und bei einigen ganz notwendig, durch einen elektrisch getriebenen Ventilator die Luft im Apparate zu bewegen und mischen, wodurch die Temperaturdifferenzen in verschiedenen Teilen des Apparates wesentlich ausgeglichen werden.

Ferner muß dafür gesorgt werden, daß die Luftproben wirklich die durchschnittliche Zusammensetzung der zu analysierenden Luft haben, denn sonst könnten die bedenklichsten Fehler entstehen. Auch hier leistet der Ventilator ausgezeichnete Dienste.

Über die Art und Weise, wie die Analysen ausgeführt werden, verweise ich auf die diesem Gegenstand speziell gewidmeten Arbeiten, z. B. F. Müllers Darstellung im Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden von Abderhalden.

Zum Schluß sei noch darauf aufmerksam gemacht worden, daß es vorteilhaft ist, wenn man in der Regel den eigentlichen Versuch, d. h. Ablesungen und Entnahmen von Luftproben erst dann beginnen läßt, wenn das Versuchsindividuum schon eine Zeitlang im Apparate eingeschlossen und der Apparat im Gange gewesen ist. Hierdurch schließt man die störenden Einwirkungen aus, welche durch das Hineinbringen des Versuchsindividuums in den Apparat notwendig auftreten müssen. Bei mehreren Apparaten kleineren Umfanges erreicht man noch den wichtigen Vorteil, daß die Luft dann ein gewisses Kohlensäureprozent erhalten hat, das sich später nicht besonders verändert; daß sie mit Wasserdampf gesättigt worden ist, soweit sie dies überhaupt wird; daß die Wirkung des Versuchsindi-



viduums auf die Temperatur des Apparates zur Entwicklung gelangt ist und sich darauf nur in geringem Grade verändert (vgl. Krogh, 92).

Betreffend die Berechnung der Versuchsresultate müssen alle Gasvolumina auf Trockenheit wie auf 0° C. und 760 mm Barometerdruck reduziert werden. Da die Arbeit von Landolt und Börnstein in jedem physiologischen Institut vorhanden sein muß, brauche ich nicht die entsprechenden Tabellen hier aufzunehmen.

Bei 0° und 760 mm Hg wiegt 1 l Kohlensäure 1.9667 g und 1 l Sauerstoff 1.431 g; 1 g Kohlensäure entspricht also 0.5085 l und 1 g Sauerstoff 0.699 l.

1 g Kohlensäure enthält 0.2727 g Kohlenstoff.

1 g Kohlenstoff bildet 3.667 g Kohlensäure.

Wenn die Kohlensäureabgabe pro 1 Minute **x** ccm beträgt, ist sie pro 1 Stunde in g 0.1180 **x**.

Wenn der Sauerstoffverbrauch pro 1 Minute **x** ccm beträgt, ist sie pro 1 Stunde in g 0.08586 **x**.

Bei vielen unter den im folgenden zu beschreibenden Apparaten kommen Ventile verschiedener Konstruktion vor. Um Wiederholungen zu vermeiden, stelle ich hier zunächst die wichtigsten Typen übersichtlich zusammen.

A. Ventile mit Flüssigkeitsverschluß.

Diese Ventile dienen nicht allein zur Regulation der normalen Luftströmung im Apparate, sondern können auch, wenn sie mit Lauge beschickt werden, zur Absorption der Kohlensäure dienen.

1. Das Ventil von Müller (89) besteht aus einem Glasgefäße, das mit einem gut schließenden, doppelt durchbohrten Pfropfen verschlossen ist (Fig 2). In den Durchbohrungen befinden sich zwei rechtwinklig gebogene Glasröhren, von denen die eine B fast bis an den Boden des Gefäßes A reicht, die andere C aber sofort unterhalb des Pfropfens endet. In dem Gefäße A befindet sich Quecksilber oder Wasser. Wie ohne weiteres ersichtlich, gestattet das Ventil die Luftströmung von B nach C, nicht aber von C nach B; je nach der Richtung, in welcher es eingeschaltet wird, dient es also als Inspirations- oder Exspirationsventil.

2. Voits Ventil (53, S. 554) besteht aus einem in der Mitte bauchig ausgetriebenen Glasgefäß und zwei nach aufwärts gerichteten Schenkeln, dessen Form und Stellung aus der Fig. 3 ersichtlich ist. Die beiden Ventile enthalten Quecksilber und sind in entgegengesetzter Richtung geneigt, so daß das Quecksilber den tieferen Teil absperrt, in dem einen den linken Schenkel, in dem anderen aber den rechten. Die Einstellung der Ventile kann so fein gemacht werden, daß ein sehr schwacher Druck genügt, die kurze Quecksilbersäule in dem tieferen Schenkel etwas herabzudrücken und den Weg frei zu machen.

3. Kühns (40, S. 273) Ventile (Fig. 4) bestehen aus einem 5 cm hohen und 2 cm weiten zylindrischen Gläschen (a), welches nach oben in zwei 3 cm lange und 0.5 cm weite Glasröhren b und c endet. An die eine dieser Röhren (b) ist im Innern des Zylinders ein etwas dünneres bis fast auf den



Boden reichendes und unten schräg abgeschnittenes Röhrchen (d) angeschmolzen. Das Gläschen a, welches mit soviel Quecksilber gefüllt wird, daß die untere schräge Öffnung des Röhrchens d durch dasselbe geschlossen

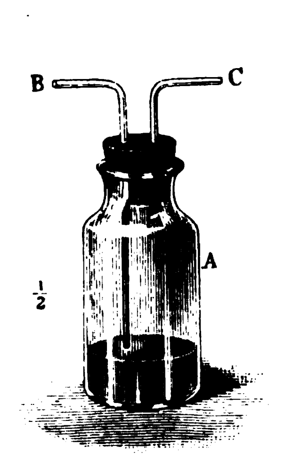


Fig. 2.
Müllers Ventil.

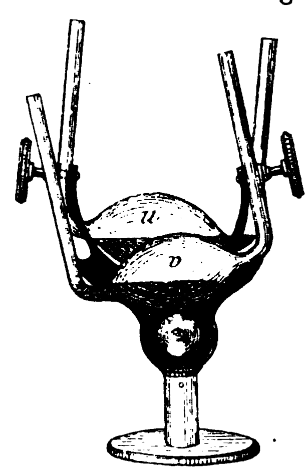


Fig. 3.
Voits Ventil.

wird, ist in einem Messingfuß eingesetzt und kann mehr oder weniger geneigt werden, was den Verschluß der schrägen Öffnung des Röhrchens d verstärkt oder schwächer macht.

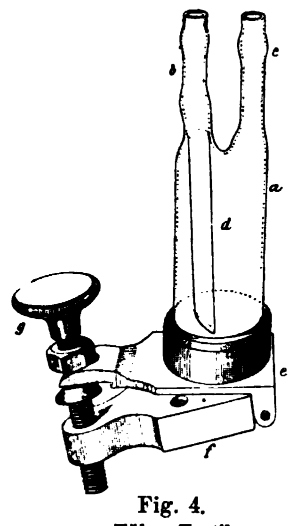


Fig. 4.
Kühns Ventil.

Fig. 5.
Pflügers Ventil.

4. Das von Pflüger empfohlene und von Leo (70, S. 223) beschriebene Ventil (Fig. 5) hat einen Rauminhalt von etwa 350 ccm. Wie aus der Figur ersichtlich, hat es eine langgestreckte Form und ist nur wenig geneigt aufgestellt. Infolgedessen muß die kohlensäurehaltige Luft beim Hindurchstreichen längere Zeit mit der Lauge in Berührung bleiben. Es wird mit

konzentrierter Kalilauge (1:1) in der Weise gefüllt, daß in jedem Ventil noch ein Raum von 25 bis 40 ccm übrig bleibt.

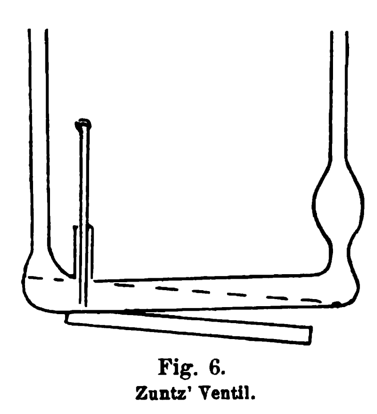


Fig. 6.
Zuntz' Ventil.

5. Die von Zuntz und Oppenheimer (76, S. 423) benutzten Ventile (Fig. 6) erinnern wesentlich an diese, nur mit dem Unterschied, daß sie am Ende, wo die Luft aus ihnen austritt, eine kugelige Erweiterung tragen, sowie daß sie noch mit einem Stutzen versehen sind, in welchem mit einem Kautschukstopfen ein bis auf den Boden des Ventils reichendes Glasrohr befestigt ist. Dieses Rohr dient zum Einfüllen der Lauge und zum Entfernen derselben am Schlusse des Versuches.

B. Ventile mit dehnbarem Verschluß.

6. Geppert (19, S. 369) benutzt im Anschluß an Speck (12, S. 9) Ventile, die aus etwa $1^1/_2$ l großen gläsernen Pulverflaschen bestehen, in welche breite, starke Gummistopfen eingefügt sind. Jeder Stopfen trägt zwei 2 cm breite Durchbohrungen, durch welche passende Glasröhren hindurchgehen. An je einer dieser Röhren ist ein Stück Rinderdarm, das in Glyzerin gelegen hatte, befestigt. Diese Ventile spielen außerordentlich leicht und bewirken bei der Atmung kein bemerkbares Hindernis (vgl. Fig. 48).

7. Zuntz (20, S. 28) beschreibt folgende Konstruktion der Darmventile. Die das Ventil tragende Röhre ragt bis etwa 5 cm vom gegenüberliegenden Kork in den Glaszylinder hinein; ihr unteres Ende ist rundlich zugeschmolzen, dafür hat sie höher oben seitlich eine weite vor der Lampe

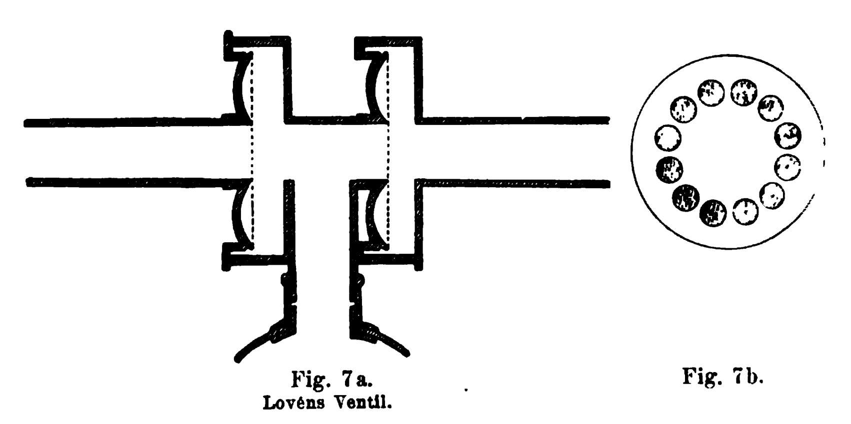


Fig. 7a.
Lovéns Ventil.

Fig. 7b.

geblasene Öffnung, mit sorgfältig geglätteten Rändern. Der Darm ist mit der glatten Peritonealfläche nach innen der Röhre oben aufgebunden und überragt ihr unteres zugeschmolzenes Ende noch ein wenig. Hier wird er wie ein Sack zugebunden. An der der Öffnung der Glasröhre diametral gegenüberliegenden Seite ist in den Darm ein Schnitt gemacht, weit genug.

daß aus ihm Luft bequem ausweichen kann, welche durch die Öffnung der Glasröhre in den Darmsack eintritt. Sobald oben in der Röhre der Druck niedriger wird als im äußeren Zylinder, legt sich der Darm hermetisch schließend vor die Öffnung der Röhre. Zwischen Darmsack und Glasröhre müssen einige Millimeter Spielraum sein. Zur Befeuchtung der Darmstücke dient eine Mischung von 1 Vol. Glyzerin und 2 Vol. Sublimatwasser von 1 pro Mille. Nach dem Gebrauche füllt man die Ventile mit dieser Mischung.

8. Lovén hat folgendes Ventil angegeben (88, S. 194). Es besteht (Fig. 7a) aus zwei runden Dosen aus Messing, welche je eine Membran (in der Figur gestrichelt) einschließen und miteinander fest vereinigt sind durch ein T-Rohr, an dessen längerem Schenkel das Mundstück angebracht ist. Die Membran besteht aus Goldschlägerhäutchen, das zur Entfernung des Leimstoffes zuerst in reines, einige Male gewechseltes Wasser und dann in Glyzerin bis zur vollkommenen Durchtränkung gelegt wird. Darauf nimmt man das Häutchen wieder heraus, befreit es durch Pressen zwischen Filtrierpapier vom überschüssigen Glyzerin, hängt es zum Trocknen an einem warmen Orte auf und dann ist es zum Gebrauch fertig und behält Jahre lang seine Geschmeidigkeit. An den Membranen werden kreisförmig stehende Löcher zum Durchtritt der Luft geschnitten (Fig. 7b).

C. Ventile mit starrem Verschluß.

9. Das in Fig. 8 abgebildete Ventil von Thiry-Chauveau besteht aus einer metallenen Röhre, an welcher zwei Glasröhren festgesetzt sind. Die



Fig. 8.
Thiry-Chauveaus Ventil.

Regelung der Luftströmung geschieht durch die sehr leichten Metalldeckel, deren Spiel ohne weiteres aus der Figur ersichtlich ist (90).

10. Das Ventil von v. Recklinghausen (91, S. 455, 459) besteht aus einem an zwei Fäden, welche aus je drei einzelnen Kokonfäden zusammengedreht sind, aufgehängten Deckgläschen, das wie ein Vorhang über eine fast vertikal stehende Messingplatte herabhängt. Diese Platte ist plan geschliffen und hat in der Mitte für den Durchtritt der Luft eine weite Öffnung. Der geringste Überdruck hebt das Deckgläschen von der Messingplatte ab.

11. Regnards Ventil ist in der Fig. 34 (S. 120) abgebildet; es besteht aus einer etwa sanduhrförmigen Glasröhre mit zwei Kugeln, welche, wie aus der Figur ersichtlich, die Luft nur in einer bestimmten Richtung strömen lassen.

Zweites Kapitel.

Respirationskammer mit ununterbrochenem Luftwechsel.

Die Apparate, bei welchen die Versuchsindividuen frei, ohne jede Maske oder dgl. atmen und sich auch, wenn der Versuchszweck dies gestattet, bewegen können, sind vor allem bei Versuchen, wo der Gaswechsel während einer längeren Zeit ununterbrochen bestimmt werden soll, notwendig, denn in der Regel kann nur kurze Zeit durch eine Maske oder ein Mundstück geatmet werden.

Die betreffenden Apparate sind von zwei prinzipiell verschiedenen Arten: entweder wird die Kammer durch einen stetigen Luftstrom ununterbrochen ventiliert und steht also durch Öffnungen für die eintretende und die austretende Luft mit der Außenluft in Verbindung, oder auch bildet die Kammer ein vollständig abgeschlossenes System, in welchem die Kohlensäure, je nachdem sie gebildet wird, absorbiert wird und statt dessen Sauerstoff aus einem Behälter der Respirationskammer zugeführt wird.

Alle beiden Versuchsweisen waren schon von Lavoisier benutzt worden. Nach denjenigen Autoren, welche später zur Ausbildung derselben am meisten beigetragen haben, werden die Apparate mit stetigem Luftwechsel nach Pettenkofer und die mit geschlossenem Systeme nach Regnault und Reiset bezeichnet.

In diesem Kapitel werde ich die Respirationsapparate nach Pettenkofer und im folgenden die nach Regnault und Reiset besprechen. Aus praktischen Gründen werde ich die für den Menschen und größere Tiere überhaupt beabsichtigten Apparate und die für kleinere Tiere gebauten besonders beschreiben.

A. Die bei Versuchen am Menschen und größeren Tieren benutzten Apparate.

1. Der Apparat von Scharling (1843). Die Versuchsperson wird in einen sorgfältig abgeschlossenen Kasten von etwa 1 cbm Inhalt eingeschlossen (35). Der Kasten wurde mittels einer Luftpumpe oder eines Aspirators ventiliert und die Kohlensäure dadurch bestimmt, daß die gesamte Luftmenge durch Kalilauge geleitet wurde. Die in den Kasten einströmende Luft wurde durch Kalilauge von ihrer Kohlensäure befreit. Die vor dem Beginn des Versuches und nach dem Schluß desselben im Kasten befindliche Kohlensäure wurde besonders bestimmt.

Wegen der geringen Größe des Kastens konnte ein Versuch nur etwa 1 Stunde dauern.

2. Der Apparat von Pettenkofer (1863). Durch diesen (36) wurde ein für den Menschen geeigneter Respirationsapparat erhalten, in welchem die während 24 Stunden abgegebene Kohlensäuremenge direkt und ohne Störung der normalen Atmung bestimmt werden konnte.

Dieser Apparat besteht aus einer Respirationskammer von 12.7 cbm Inhalt, in welcher durch Luftpumpen ein ununterbrochener Luftwechsel unterhalten wird. Sowohl von der einströmenden als von der ausströmenden Luft wird eine Generalprobe zur Analyse genommen, indem vom Beginn bis zum Schluß des Versuches ein immer gleich großer Bruchteil der gesamten ein- bzw. ausströmenden Luft durch Apparate zur Absorption der Kohlensäure und des Wassers geleitet wird.

Die nähere Anordnung dieses Apparates ist folgende (vgl. Fig. 9).

Die Kammer, in welcher sich die Versuchsperson befindet, ist ein Kubus von 2.335 m Seite mit Wänden aus Eisenblech. Die Luft wird aus derselben durch zwei von einer Dampfmaschine getriebene Zylinder ausgesaugt, die in der Figur nicht dargestellt sind und mit der Röhre D verbunden sind. Statt der aus der Kammer ausgesaugten Luft tritt neue Luft durch die Spalten und Öffnungen der Türe in die Kammer hinein. Die ausventilierte Luft tritt unten und oben durch die Röhren a und b, welche sich bei c in das Rohr g vereinigen, heraus. Von da geht die Luft in den mit großen, durchfeuchteten Bimssteinstückchen gefüllten Befeuchtungsapparat F, welcher bezweckt, die Luft vor ihrem Eintritt in die

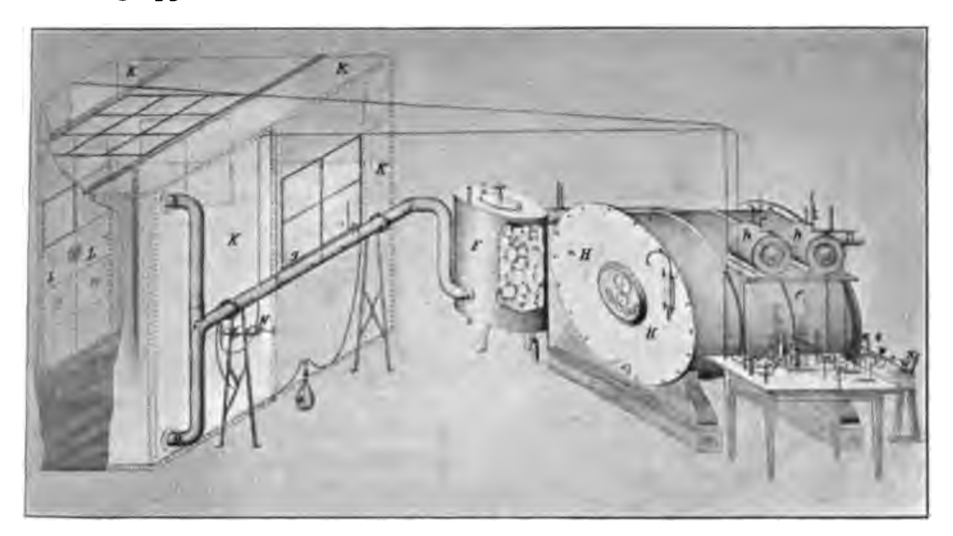


Fig. 9.
Pettenkofers Respirationsapparat.

Gasuhr H mit Feuchtigkeit zu sättigen. Mit Ausnahme der zur Analyse abgezweigten Luftmenge (vgl. unten) muß alle Luft, die von der Kammer herausströmt, die Gasuhr passieren und wird hier gemessen.

Durch ein auf der Röhre g befestigtes Wassermanometer werden die im Apparat stattfindenden Druckvariationen angezeigt; diese sind indessen sehr klein und bestehen nur in einem beständigen Zittern der Wassersäule.

Um die Stärke des Luftwechsels in der Kammer zu variieren, kann teils die Hubhöhe der Saugzylinder, teils auch die Hubzahl in der Zeiteinheit durch zweckmäßiges Verstellen der Bewegungsmaschinen verändert werden. (Darüber s. die Originalabhandlung.)

In dem Maße, als die Luft in der Respirationskammer ein- und austritt, muß sie auch fortlaufend untersucht werden. Vom Anfang bis zum Ende wird daher ein stets gleicher Bruchteil des ganzen zur Untersuchung genommen, um also ein verkleinertes Bild von der Beschaffenheit der Luft zu allen Zeiten des Versuches zu haben.

Zu diesem Zwecke benutzt Pettenkofer zwei kleine Saug- und Druckpumpen, welche sich durch eine besondere Übertragung in genau demselben

Rhythmus wie die großen Saugzylinder bewegen und also immer einen gleichen Bruchteil der ausgesaugten Luft abzweigen. Diese Pumpen nebst den dazu gehörigen Meß- und Absorptionsapparaten sind neben der großen Gasuhr placiert. Fig. 10 gibt diese Anordnung wieder.

Wie aus der Fig. 9 ersichtlich ist, saugt die eine Pumpe einen Bruchteil der Luft, wie sie in die Respirationskammer einströmt, aus einer möglichst engen Glasröhrenleitung, welche über die Respirationskammer weg nach der Türe geht, wo sie sich nach zwei Seiten derselben abzweigt. In gleicher Weise saugt die andere Pumpe aus der Röhre g einen Bruchteil der Luft, wie sie aus der Respirationskammer fortgeht. Beide Pumpen gehen in jeder Minute 10mal und man stellt die Hubhöhen so, daß jeder Hub 8 bis 9 ccm Luft fördert.

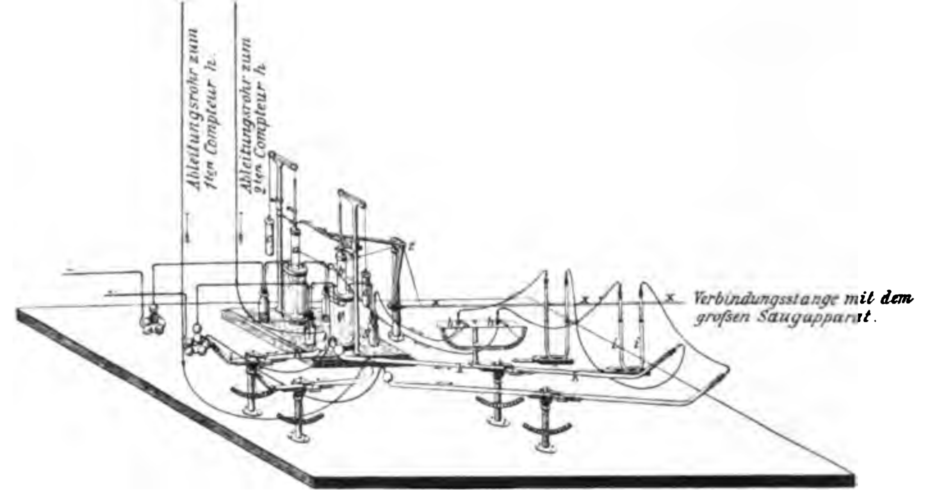


Fig. 10.
Pettenkofers Respirationsapparat.

Ehe die Luft in die Pumpe tritt, wird ihr alles Wasser durch die Kugelapparate (Fig. 10), welche mit Schwefelsäure gefüllt sind, entzogen. Zur Sicherheit folgt nach jedem Kugelapparat noch ein U-förmiges Rohr mit Bimsstein und Schwefelsäure.

Von den Pumpen aus wird die Luft durch ein System von Röhren gedrückt. Von dem Fläschchen g (Fig. 10) aus geht die Luft durch den Hahn h, die Röhre i, in welcher sich mit Wasser befeuchteter Bimsstein befindet, zu der 1 Meter langen, etwas schiefstehenden mit Barytwasser gefüllten Röhre k, wo die Kohlensäure absorbiert wird. Etwa noch vorhandene Reste von Kohlensäure werden durch ein mit Barytwasser gefülltes kürzeres Rohr l absorbiert. Von hier strömt die Luft nach den beiden kleinen Gasuhren h (Fig. 9), wo sie gemessen wird.

Die Kohlensäure wird durch Titrieren des Barytwassers bestimmt. Da man nun kennt, wie viel Luft durch die große und wie viel durch die kleine Gasuhr passiert hat, läßt sich die während der Versuchszeit gebildete Kohlensäure leicht berechnen, wobei natürlich die in der einströmenden Luft befindliche Kohlensäure abgezogen werden muß.

Über die Berechnung der Kohlensäure in der Respirationskammer vgl. 36, S. 39.

Die Kontrollversuche mit brennenden Kerzen ergaben bei den ersten Versuchen von Pettenkofer (36, S. 42, 51, 52) für die Kohlensäurebestimmung einen mittleren Fehler von 0.6% Spätere Prüfungen von C. und E. Voit und J. Forster (37) mit insgesamt 41 Versuchen zeigten einen mittleren Fehler von 0.79 bis 3.45%. Als Mittel aller 48 Bestimmungen beträgt der Fehler 1.96%.

In bezug auf die Wasserbestimmung — Absorption durch Schwefelsäure — erhielt Pettenkofer (36) anfangs ziemlich gute Resultate; indem bei 5 Versuchen der mittlere Fehler nur 4.4% betrug. Zwei folgende Reihen ergaben indessen ungünstigere Resultate; die folgende Prüfung von Voit und seinen Mitarbeitern (37) zeigte indessen in drei Versuchen einen Fehler von nur — 2.5. bis — 3.5%.

Pettenkofer versuchte auch aus seinen Versuchen den Sauerstoffverbrauch zu berechnen. Unter der Voraussetzung, daß die Ausgabe durch Haut und Lungen als wesentlich nur aus Wasser und Kohlensäure bestehend anzunehmen sei, findet er und Voit (vgl. 38, S. 59) den Sauerstoffverbrauch durch folgende Rechnung. Zum Anfangsgewicht des Versuchsindividuums (A) wird die verzehrte Nahrung (B) und das aufgenommene Wasser (C) addiert. Ebenso wird dem Endgewicht des Versuchsindividuums (A^1) das Gewicht des abgegebenen Harns und Kots (D) sowie der abgegebenen Kohlensäure (E) und des Wassers in Dampfform (F) addiert. Die Summe $A + B + C$ ist kleiner als die Summe $A^1 + D + E + F$. Wie ersichtlich, kann der Unterschied nur durch das Gewicht des aufgenommenen Sauerstoffs bedingt sein.

Alles ist aber von der Genauigkeit abhängig, mit welcher insbesondere der Wasserdampf bestimmt werden kann, denn bei einer Berechnung aus Differenz häufen sich alle Fehler auf die in dieser Weise bestimmte Substanz. Auch ergaben die folgenden Anwendungen des Respirationsapparates von Pettenkofer, daß sich die Sauerstoffberechnung nicht mit genügender Exaktheit durchführen läßt, weshalb man schon seit lange auf eine solche verzichtet hat.

2b. Der Apparat von Stohmann (1870) ist für die landwirtschaftlichen Nutztiere gebaut (39) und die Respirationskammer hat einen Inhalt von 15 Kubikmeter (Länge 3.15, Breite 2.20, Höhe 2.17 m[1]). Von dem ursprünglichen Modell Pettenkofers unterscheidet er sich wesentlich dadurch, daß die Pumpen durch ein Gebläse („Roots silent blower") ersetzt wurden. Zur Regulierung des Luftstromes ist zwischen dem Ventilator und der großen Gasuhr ein dreischenkliges Rohr eingeschaltet, von dem ein Schenkel mit dem Ventilator, der zweite mit der Gasuhr verbunden ist, während der dritte, mit einem Kegelventil verschließbare, frei in die äußere Luft mündet. Je nachdem dieses Kegelventil mehr oder weniger geöffnet wird, wird bei unveränderter Umdrehungsgeschwindigkeit des Ventilators, neben dem durch den Apparat gesogenen Luftstrom, mehr oder weniger Luft unmittelbar durch die seitliche Öffnung dieses dreischenkligen Rohres vom Ventilator aufgenommen. Beim völligen Verschluß des Ventils bewirkt der Apparat eine Ventilation von 150 cbm pro Stunde; durch teilweises Öffnen

---

1) Der Apparat von Henneberg in Weede ist 3.21 m lang, 2.34 m breit und 2.34 m hoch — der Inhalt also 17.4 cbm.



des Ventils ist der Luftstrom durch die Respirationskammer auf jeder gewünschten Größe bis zu 10 cbm pro Stunde zu erhalten.

Betreffend die Anordnungen für die proportionale Probeentnahme vgl. 39, S. 85.

Durch Versuche mit Stearinkerzen fand Stohmann als Mittel von 13 Kohlensäurebestimmungen einen Fehler von 1.45%.

Die Wasserdampfbestimmungen waren auch hier nicht befriedigend. Die Fehler in zwei Reihen mit insgesamt 48 Versuchen (39, S. 104) wechseln in der einen Reihe zwischen — 27.4 und + 11.3%, in der anderen zwischen — 17.7 und + 21.6%. Als wesentlichen Grund der Fehler betrachtet Stohmann die Kondensation des Wassers an der Wand der Respirationskammer. Nähere Versuche (39, S. 159) ergaben, daß das Kondensationsvermögen für Feuchtigkeit ganz wesentlich von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängig ist. Das Kondensationsvermögen einer polierten Messingplatte verhält sich zu dem einer mit Ölfarbe bedeckten Eisenplatte wie 1 : 30. Der Ölfarbenanstrich wirkt daher in bezug auf die Kondensation ähnlich wie ein poröser Körper.

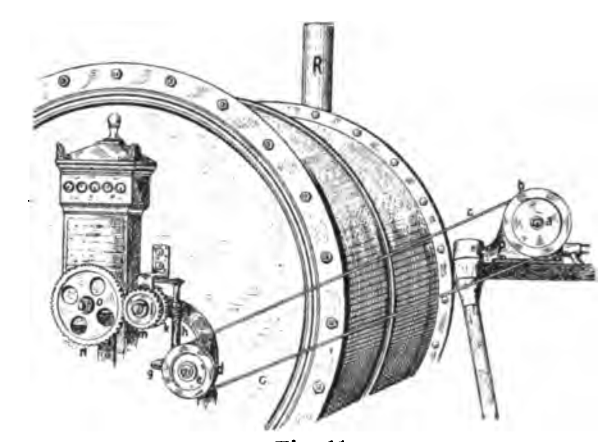


Fig. 11.
Detail aus Rubners Respirationsapparat.

2c. Der Apparat von Kühn (1880). Auch hier (40) wird das Gebläse von Root (vgl. oben) zur Ventilation benutzt. Der Inhalt der Respirationskammer beträgt 18.21 cbm. Da der Apparat für landwirtschaftliche Nutztiere beabsichtigt ist und daher die Bestimmung der Abgabe von gasförmigem Kohlenwasserstoff von Bedeutung ist, ist die Anordnung getroffen, diese durch Glühen völlig zu oxydieren. Der Versuch mit dem Apparat zerfällt also in zwei Abteilungen: Bestimmung der Kohlensäure in der Außenluft und in der Luft aus der Respirationskammer vor und nach dem Glühen. Aus der Differenz berechnet sich die Menge des in den Kohlenwasserstoffen enthaltenen Kohlenstoffes.

Der Apparat ist nur für Kohlensäurebestimmungen gebaut. Nach vier Reihen von insgesamt 24 Kontrollversuchen mit brennenden Kerzen beträgt die prozentige Abweichung durchschnittlich nur etwa 0.3 bis 0.4% und die maximalen Schwankungen belaufen sich auf + 0.9 und — 1.0%.

2d. Der Apparat von Rubner (1896) hat eine etwas kleinere Respirationskammer (41, S. 36) als der Respirationsapparat von Pettenkofer (1.5 m breit, 2½ m lang, 2 m hoch, also 7.5 cbm). Die Luft tritt in den Kasten unten seitlich an einer Längswand durch einen etwa 12 cm weiten Röhrenansatz ein und wird oben in der Mitte an der entfernteren Querwand durch ein zur großen Gasuhr führendes Rohr R (Fig. 11) aspiriert. Die Bewegung der Gasuhr wird durch einen Wassermotor besorgt. Auf der Achse a des Motors sitzt die metallene Riemscheibe b von etwa 14 cm Durchmesser, deren Umdrehungen mittels des Riemens c auf eine nur sehr wenig kleinere zweite Riemscheibe d (Durchmesser etwa 13 cm) übertragen werden. Die Achse e dieser zweiten Riemscheibe greift als Wellenschnecke mit ihren Zähnen in ein horizontal gelagertes Zahnrad g, auf

dessen Welle h wiederum eine Schnecke i sitzt, deren Zähne in ein vertikal gelagertes Zahnrad k fassen. Durch weitere Transmissionen wird endlich die Bewegung auf das auswechselbare Zahnrad n übertragen, das auf der Achse der inneren Gasuhrtrommel sitzt. Durch deren Bewegung wird der Luftwechsel in der Respirationskammer hergestellt. Durch Verstellen der Wechselräder kann die Größe desselben innerhalb weiter Grenzen variiert werden.

Die Gasuhr ist, um das sonst durch Verdunstung bewirkte Sinken des Wasserspiegels zu kompensieren, für beständigen Zulauf und Ablauf eingerichtet.

Die Probeentnahme usw. geschieht hier wesentlich wie bei dem Pettenkoferschen Apparate; die hierbei tätigen Pumpen werden unter Vermittlung geeigneter Vorrichtungen durch eine zweite auf die Motorwelle angebrachte kleine Riemscheibe bewegt.

Wie Rubner (42) ausdrücklich hervorhebt, läßt sich mit diesem Apparat die Abgabe von Wasserdampf mit genügender Exaktheit bestimmen.

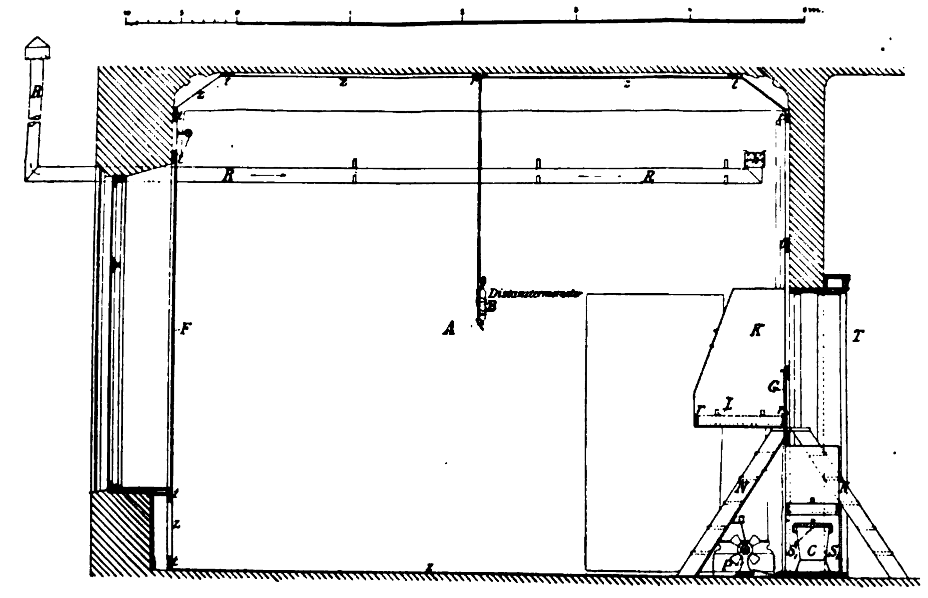


Fig. 12.
Sondén-Tigerstedts Respirationsapparat.

3. Der Apparat von Sondén und Tigerstedt (1895). Bei diesem wurde vor allem Rücksicht darauf genommen, daß die Versuchsperson während ihres Aufenthaltes in der Respirationskammer gar kein Gefühl von Unannehmlichkeit haben sollte, sowie daß, wenn der Versuchszweck es erforderte, gleichzeitig mehrere Individuen in der Kammer sich aufhalten konnten.

Die Respirationskammer (43) bestand[1]) aus einem 100.65 cbm großen Zimmer. Die Decke und die Wände waren mit Holzlatten beschlagen, an welche, ebenso wie an den hölzernen Fußboden, Zinkblech von etwa $^1/_2$ mm Stärke angenagelt wurde. Um die Fugen luftdicht zu machen, wurden sie mit Zinn gelötet. Der Sicherheit wegen wurde noch die ganze Zinkbekleidung mit Ölfarbe gestrichen und der ganze Fußboden mit einem

1) Bei dem im vorigen Jahre stattgefundenen Umbau des physiologischen Instituts in Stockholm wurde die Respirationskammer niedergerissen.



Linoleumteppich bedeckt. Diese Anordnung muß als fehlerhaft bezeichnet werden, denn dadurch wurde die bezweckte Bestimmung des Wasserdampfes wesentlich vereitelt (vgl. oben S. 88). Um Tageslicht einzulassen, wurde in einem mit Zink beschlagenen Holzrahmen ein großes Glas von etwa 4.5 qm eingekittet.

Zum Ein- und Austreten wurde in der aus Fig. 12 ersichtlichen Weise eine horizontale Öffnung benutzt. Die nach der Vorhalle T offene Glocke K trug an ihrem unteren Rande die mit Öl gefüllte Rinne r, welche die Eintrittsöffnung umgab. Der Deckel L sperrte dann, wenn er aufgesetzt war, die Verbindung zwischen der Vorhalle und der Respirationskammer vollständig ab.

Um Speisen und dgl. hineinzubringen, war eine Art von Schleuse angeordnet. Ein parallelepipedischer Kasten aus Zinkblech war in der Weise in eine Öffnung der Blechbekleidung der Kammer festgelötet, daß die eine Hälfte des Kastens innerhalb, die andere außerhalb der Kammer blieb. Jede Hälfte hatte ihren Deckel, der in seine mit Öl beschickte Rinne paßte. Kleine Pfropfen aus Kautschuk dienten dazu, um beim Abheben des Deckels Luft herein- und herauszulassen. Der äußere Deckel wurde gehoben, der einzubringende Gegenstand in den Kasten gebracht und dann der Deckel wieder aufgelegt. Keine fremde Luft hat dabei in die Kammer kommen können. Jetzt wird der innere Deckel gehoben, der Gegenstand herausgenommen usw. Hierbei kann ein geringer Teil der in dem Kasten enthaltenen Luft in die Kammer hineindringen. Da indessen die Kammer 100 cbm, der Kasten aber nur 0.25 cbm faßt, kann hierdurch kein in Betracht kommender Fehler entstehen.

In derselben Weise wurden durch einen zweiten Kasten die festen und flüssigen Ausscheidungen herausbefördert.

Die Heizung fand durch einen Kamin mit Dampfheizung statt.

Um die Luft in möglichst homogener Mischung in der Kammer zu erhalten, wurde ein kleiner elektrisch getriebener Flügelradventilator benutzt. Dieser vermochte, wenn er frei im Raume stand, etwa 800 cbm Luft pro Stunde in gewisser Richtung fortzubewegen.

Zu der Respirationskammer wurde die Luft durch ein Zinkrohr von 0.14 m Durchmesser (R) geleitet. Außerhalb des Hauses ging es senkrecht bis über das Dach des Hauses, wo es mit einem Ventil versehen war, welches eine eventuelle Aussaugung von Luft aus der Respirationskammer verhindern sollte.[1]) Innerhalb der Kammer lief das Rohr nahe an der Decke längs der einen Wand, wodurch die einströmende Luft vor dem Eintritt angewärmt wurde.

Von der diagonal entgegengesetzten Ecke der Kammer ging das für die Fortleitung der Luft abgesehene Rohr aus und lief in dem angrenzenden Apparatzimmer am Fußboden entlang bis zu einem von einem elektrischen Motor getriebenen Pumpwerk, welches die Luft aus der Respirationskammer saugte und sie weiter durch die Gasuhr preßte.

---

1) Dieses Ventil ist von E. A. Wiman konstruiert. Im Inneren der Kappe sind Streifen von einem leichten, aber dichten Tuch aufgehängt. Durch den Wind werden diese gegen die entgegengesetzte Oberfläche der Kappe gepreßt. Infolgedessen wird die darin gelangte Luft gezwungen, nach unten in die Röhre zu strömen. und die Aussaugung der Luft von der Respirationskammer ist ausgeschlossen.



Das Pumpwerk bestand aus drei sukzessiv nacheinander wirkenden Glocken, welche in entsprechenden Wasserbehältern bewegt wurden. Von den Glocken wurden drei verschiedene Größen benutzt: 1. für einen Ventilationsbedarf über 12 cbm pro Stunde; 2. für 12—3 cbm; 3. unter 3 cbm. Der richtige Gang der Luftströmung wurde durch Wasserventile sichergestellt. Zur Durchfeuchtung der Luft waren in den Glocken noch Zylinder von Leinwand eingehängt, welche beim Heruntergehen der Glocken immer wieder durchnäßt wurden. Durch diese Anordnung wurde auch die nach der Gasuhr getriebene Luft tatsächlich mit Feuchtigkeit gesättigt, so daß der Wasserstand in der Gasuhr selbst nach sehr langen Versuchsreihen konstant blieb.

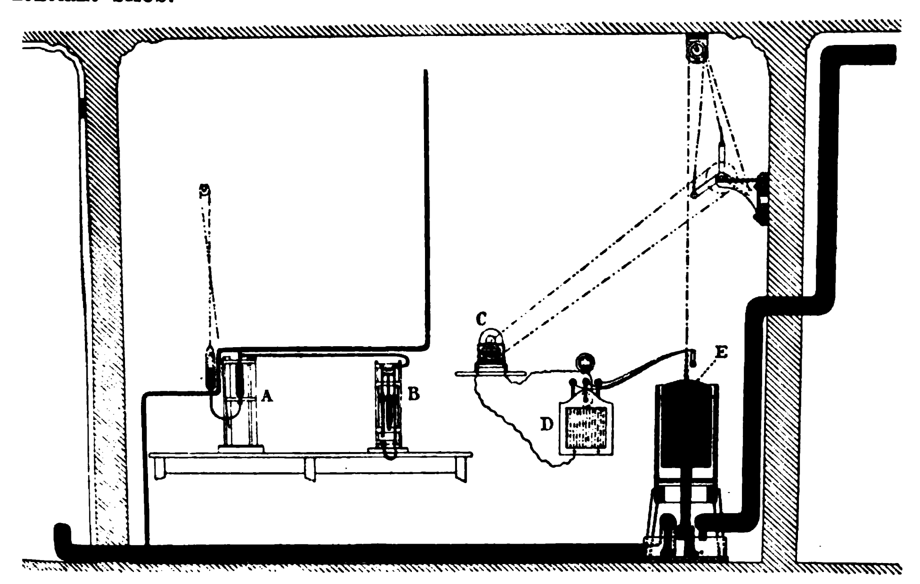


Fig. 13.
Sondén-Tigerstedts Respirationsapparat.

Die Temperatur in der Respirationskammer wurde teils durch Quecksilberthermometer, teils durch Bonnesens sogen. Distanzthermometer (Fig. 12) bestimmt. Die letzteren waren in der Mitte der Kammer, in der oberen Ecke über dem großen Fenster, in der Ausströmungsöffnung der Luft aus der Kammer, sowie in der inneren Ecke der Kammer angebracht.

Die Distanzthermometer bestehen aus einem Behälter von 300 ccm Inhalt mit trockener Luft, welcher durch ein kapillares Bleirohr mit dem sonst offenen Schenkel eines Barometers in Verbindung steht. Das System ist also von der atmosphärischen Luft abgesperrt, weshalb die Variationen des Quecksilberniveaus in der Barometerröhre nur von der Temperatur des Behälters abhängen. Die Ablesung geschah im Apparatenzimmer, wo die Barometerröhren nebeneinander aufgesetzt waren. Die Distanzthermometer verändern sich allmählich, weshalb sie von Zeit zu Zeit zu kontrollieren sind.

Zur Analyse der Luft wurde aus dem großen Rohr (Fig. 13), durch welches die ausventilierte Luft strömte, möglichst nahe an seinem Austritt

aus der Respirationskammer, eine Zweigleitung angebracht, in welcher durch eine Wasserluftpumpe eine schwache kontinuierliche Luftströmung unterhalten wurde; die Menge der hierdurch entweichenden Luft wurde mittels einer kleinen Gasuhr gemessen. Aus dieser Zweigleitung, in welcher die

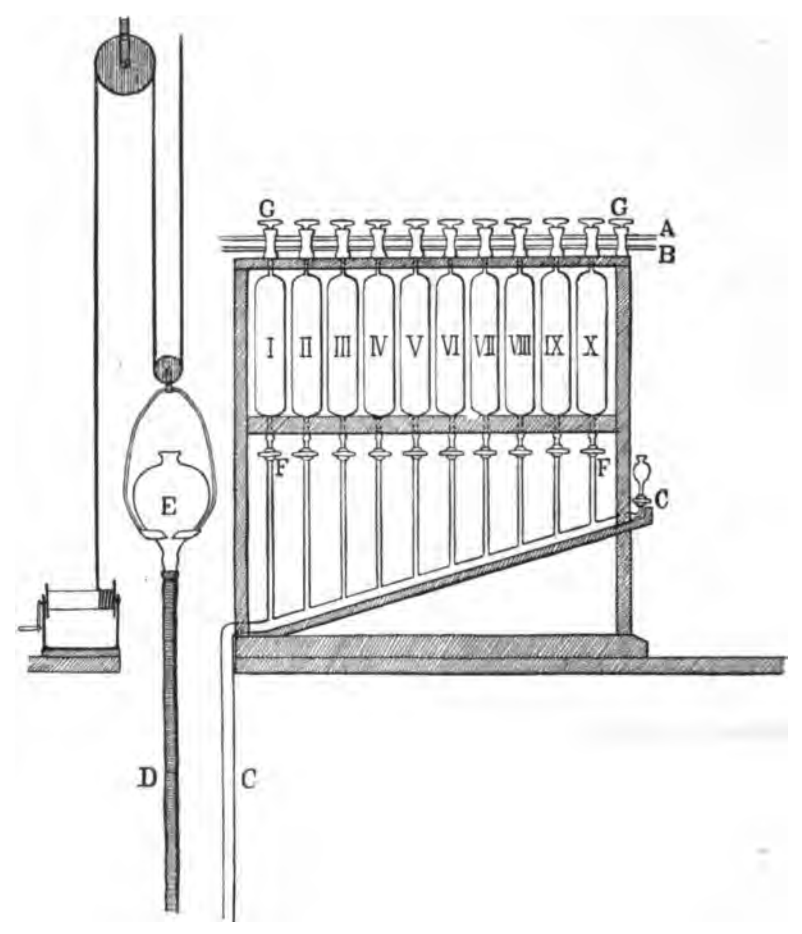


Fig. 14.
Apparat von Johansson.

Luft also immer die gleiche Beschaffenheit wie die gleichzeitig aus der Respirationskammer ausströmende Luft hatte, wurden nun Proben zur Analyse genommen, und zwar wurde hierbei folgender von Johansson (44) konstruierter Apparat benutzt. Zehn Glaspipetten I, II ... (Fig. 14), jede von 500 ccm, können durch die Hähne FF mit dem Rohrsystem C in Verbindung gesetzt und mit Quecksilber gefüllt werden. An ihrem oberen Ende kann jede Pipette durch die Miescherschen Hähne GG entweder mit der Röhre A oder mit der Röhre B in Verbindung gesetzt werden. Durch A — Durchmesser 5 mm — wird ein Zweig des aus der Respirationskammer

gesaugten Luftstromes geleitet. Das Rohr B — Durchmesser 0.5 mm — führt nach dem Analysenapparat.

Vor dem Versuche wird in den Pipetten Vakuum hergestellt. Als der Hahn G dann auf das Rohr A eingestellt wird, füllt sich die zugehörige Pipette fast augenblicklich mit der aus der Respirationskammer durch die Röhre A strömenden Luft. Diese Luft kann nach Schluß des Hahnes beliebig lange in den Pipetten aufbewahrt werden.

In derselben Weise werden die übrigen neun Pipetten gefüllt. Das in ihnen enthaltene Luftquantum genügt zu vier und sogar mehr Analysen.

Bei Versuchen mit dieser Respirationskammer werden Luftproben in bestimmten Intervallen nach 1 Stunde, 2 Stunden usw. bzw. auch nach $^1/_2$ Stunde mit dem soeben beschriebenen Apparate genommen und also der Gehalt der Kammerluft an Kohlensäure in genau bestimmten Momenten bestimmt. Da die in die Kammer hineinströmende Luft direkt aus dem Freien hineintritt, kann sie in bezug auf ihren Kohlensäuregehalt als konstant erachtet werden und braucht daher nicht direkt analysiert zu werden.

Wenn die Ventilation nicht sehr stark ist, läßt sich die in dem Intervall zwischen zwei Proben entwickelte Kohlensäure auf folgende Weise berechnen.

Die Analysen ergeben direkt den Zuwachs an Kohlensäure pro Mille. Wenn A das Volumen der Respirationskammer, V das Volumen der ausströmenden, durch die Gasuhren gemessenen Luft, die gleich dem Volumen der einströmenden Luft ist, β_1 bzw. β_2 den Kohlensäuregehalt der Luft zu Anfang und zu Ende des Intervalls bezeichnen, so erhält man die abgegebene Kohlensäure (in Kubikmetern), wie leicht ersichtlich, durch folgende Formel:

$$CO_2 l = A(\beta_2 - \beta_1) + V \cdot \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} - 0.3\,V,$$

wo 0.3 den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft darstellt.

Hierbei wird vorausgesetzt, daß die nötigen Korrekturen für Barometerdruck, Feuchtigkeit und Temperatur angebracht werden.

Bei starker Ventilation genügt diese Formel nicht, sondern ist die allgemeine von Lenz (45) aufgestellte Ventilationsformel dann anzuwenden (x = Kohlensäure in Kubikmetern).

$$\frac{1000\,x + V_0\,\alpha - V_1\,\beta_2}{1000\,x + V_0\,\alpha - V_1\,\beta_1} = e^{-V_1/A},$$

wo V_0 das korrigierte Volumen der einströmenden und V_1 das der ausströmenden Luft, α den Kohlensäuregehalt der einströmenden Luft (0.3 pro Mille) und e die Basis der natürlichen Logarithmen bezeichnen.

Die Kohlensäureanalysen wurden mittels des Analysenapparates von Petterson und Sondén ausgeführt.

Betreffend die Genauigkeit bei den Kohlensäurebestimmungen ergaben die Versuche mit brennenden Kerzen oder Petroleum von Sondén und Tigerstedt (43), daß die Abweichung des gefundenen Wertes von dem berechneten durchschnittlich 1.16 % betrug. Bei späteren Kontrollversuchen von Rosenberg (46) war der Fehler ± 1.00 (Mittel von 7 Versuchen), ± 0.92 (Mittel von 21 Versuchen von je $^1/_2$ Stunde), + 1.31 (Mittel von 19

Versuchen von je 1/4 Stunde), ± 1.29 (Mittel von 8 Versuchen von je 1/4 Stunde), ± 0.97 (Mittel von 6 Versuchen von je 2 Stunden).

3b. Der Respirationsapparat im physiologischen Institut zu Helsingfors (1906) stimmt in allem Wesentlichen mit dem in 3 beschriebenen überein (47). Nur ist die Respirationskammer etwas kleiner, 76.2 cbm; zur Ventilation dient eine große Gasuhr, die von einem elektrischen Motor getrieben wird.

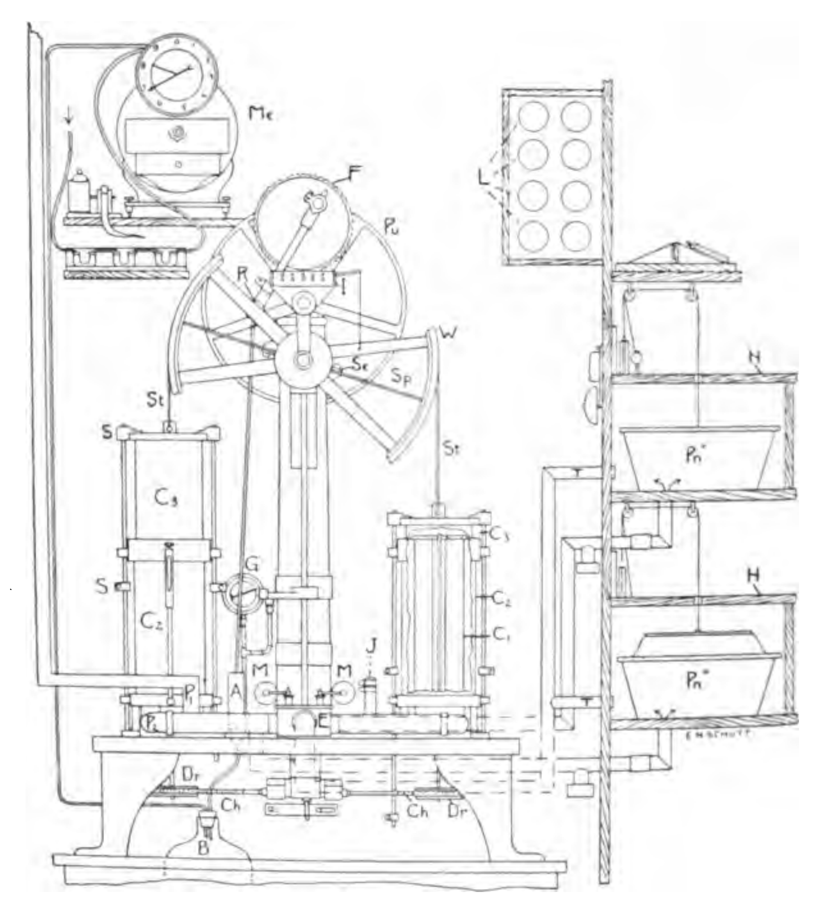


Fig. 15.
Meterpumpe von Blakeslee.

4. Der Apparat von Atwater, Rosa und Benedict (1897). Da die Methode dieser Autoren vor allem bezweckte, die Wärmeabgabe des Körpers kalorimetrisch zu bestimmen, gehört eine nähere Besprechung derselben in eine andere Abteilung dieses Handbuches. Da aber mit diesem Apparat auch der respiratorische Gasaustausch bestimmt wurde, ist es angezeigt, die hierbei vorgenommenen Anordnungen in diesem Abschnitt kurz zu besprechen (48).

Die Respirationskammer ist 2.15 m lang, 1.22 m breit und 1.92 m hoch; sein Inhalt beträgt also 5.03 cbm.

Durch starke Abkühlung wird die in die Kammer eintretende Luft von ihrer Feuchtigkeit befreit und dann auf die Temperatur der Kammer erwärmt.

Die austretende Luft passiert erst einen Kühlapparat, wo der größte Teil ihres Wasserdampfes kondensiert wird, und gelangt dann zu der Pumpe, welche die ganze Luftströmung unterhält.

Diese Pumpe (Fig. 15) besteht aus zwei Spirometerglocken C_2, C_3, welche in der mit Quecksilber gefüllten Rinne zwischen je einem äußeren und einem inneren Zylinder gehen. In den inneren Zylinder strecken sich bis an dessen obere Fläche die Röhren P_1 und P_2; durch P_1 wird Luft aus der Respirationskammer gesaugt, durch P_2 herausgetrieben. Die Verbindung der betreffenden Röhren mit der Spirometerglocke wird abwechselnd geöffnet und geschlossen durch eine am oberen Ende des inneren Zylinders befindliche horizontal gestellte Klappe, deren Bewegungen durch eine von der gemeinsamen Achse des ganzen Apparates getriebene Druckpumpe unter Vermittlung der Kette Ch und des Zahnrades Dr ihrer Aufgabe gemäß reguliert werden.

Die Luft, die aus der Respirationskammer strömt, wird gerade durch den Hub der Pumpe gemessen, und zwar entspricht jedem doppelten Schlag unter Korrektion für die Niveauveränderungen des Quecksilbers 7.77361.

Zur Probenahme dient folgende Vorrichtung. Oben trägt das Stativ ein Zahnrad mit 100 Zähnen. Bei jedem Pumpschlag wird dieses Rad um einen Zahn gedreht. Der 50. und 100. Zahn sind länger als die übrigen und schließen bei ihrer Passage den Strom zu einem Elektromagneten M. Dieser beeinflußt seinerseits einen Ventilapparat, der an E angebracht ist, in solcher Weise, daß die ausgepumpte Luft, die während der 49 Pumpschläge nach außen getrieben wird, nun in das Gefäß Pn′ bezw. Pn″ zur Analyse gesammelt wird.

Wie aus der Fig. 15, Pn″ ersichtlich, sind diese Gefäße mit einer Kautschukdecke versehen, die an ihrer inneren Wand sehr genau paßt und beim Hineintreiben der Luft allmählich gehoben wird. Etwa jede 10 Minuten empfangen sie 7.77361 Luft und sie müssen daher innerhalb 10 Minuten wieder entleert werden, um die neue Luftprobe empfangen zu können. Zu diesem Zwecke wird die Luft durch eine kleine Saugpumpe aus ihnen gesaugt und zwar passiert sie dabei 1. ein U-Rohr mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption des Wassers, 2. zwei U-Röhren mit Natronkalk zur Absorption der Kohlensäure und 3. ein U-Rohr mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption der von (2) kommenden Feuchtigkeit. Wenn der Luftstrom nicht stärker ist als 750 ccm pro Minute, wird sie in diesen Röhren von Kohlensäure vollständig befreit. Über weitere Einzelheiten bei dem Analyseapparat vgl. die originale Mitteilung.

Zur Analyse der in die Respirationskammer eintretenden Luft wird ein Teil derselben gerade vor ihrem Eintritt abgezweigt, durch U-Röhren mit den nötigen absorbierenden Substanzen geleitet und mittels einer Gasuhr gemessen. Die Strömung dieser abgezweigten Luftmenge wird durch eine kleine Pumpe unterhalten, die von der Achse der Meterpumpe getrieben wird und in Fig. 15 bei A abgebildet ist.

Zum Beginn und nach Ende des Versuches wird auch die Luft in der Respirationskammer analysiert.

Außer diesen Respirationsapparaten, in welchen die Respirationskammer jedenfalls ziemlich groß gewesen ist, sind im Laufe der Zeit mehrere andere, für den Menschen berechnete Apparate, wo aber die Kammer verhältnismäßig klein gewesen ist, nach dem Prinzip von Pettenkofer konstruiert worden. Ich stelle diese, soweit sie mir bekannt sind, hier zusammen.

5. Der Apparat von Liebermeister (1870). Dieser (49) besteht aus einem Kasten von Zinkblech von 1188 l. Inhalt. Der Kasten ist nach unten offen und wird

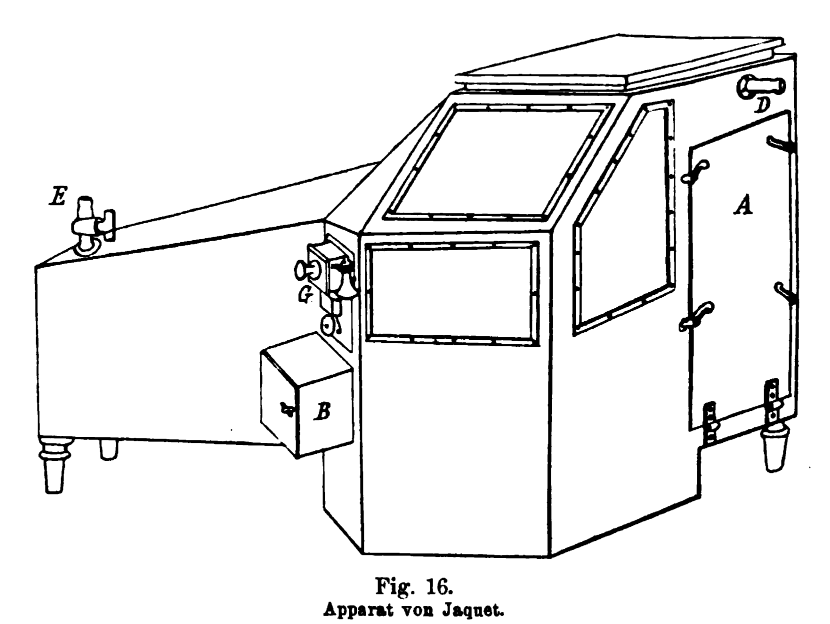


Fig. 16.
Apparat von Jaquet.

in eine mit Kochsalzlösung gefüllte Rinne gestellt, wodurch die im Kasten befindliche Luft von der umgebenden Luft abgeschlossen wird. Die Versuchsperson kann in der Kammer liegen oder sitzen.

Der Luftwechsel wird durch ein Wassertrommelgebläse besorgt. Die ausströmende Luft wird durch Schwefelsäure vom Wasserdampf befreit, geht durch große leere Flaschen, wo die Kohlensäure nach Pettenkofer analysiert wird, und wird endlich durch eine Gasuhr gemessen.

In bestimmten Zeitintervallen wird der Kohlensäuregehalt der in diesen Flaschen befindlichen Luft bestimmt. Aus den so gewonnenen Zahlen läßt sich in der oben (S. 93) dargestellten Weise die Größe der Kohlensäureabgabe der im Kasten eingeschlossenen Versuchsperson berechnen.

Wegen der geringen Dimensionen des Kastens konnte jeder einzelne Versuch nicht länger als höchstens drei Stunden lang dauern.

6. Der Apparat von Jacquet (1903). Der Kubikinhalt der Respirationskammer (50) beträgt hier nur 1393 l. Dank der Form der Kammer (vgl. Fig. 16) kann ein Erwachsener hier sowohl liegend wie sitzend verweilen, ohne sich beengt zu fühlen; sie ist so eingerichtet, daß für die sitzende Stellung möglichst viel Raum zur Verfügung steht, während der bei liegender

Stellung für den Unterkörper reservierte Teil so knapp wie möglich gehalten ist.

Die Kammertüre A wird von oben nach unten geöffnet, und trägt auf ihrer Innenfläche zwei Schienen, über welche die Rollen des Bettes laufen, wenn bettlägerige Patienten in die Kammer gebracht werden sollen.

Zur Ventilation der Kammer dient ein durch eine Wasserturbine bewegter Blasebalg, der die Luft aus dem Apparate durch D aspiriert. Die entweichende Luft wird durch reine Luft ersetzt, welche direkt aus dem Freien entnommen wird.

Die ausströmende Luft wird durch eine Gasuhr gemessen; gleichzeitig wird von derselben ein aliquoter Teil zur Analyse genommen. Dies geschieht dadurch, daß eine durch zweckmäßige Übersetzung von der Achse der Gasuhr getriebene Pipette allmählich herabsinkt und dabei Luft in ein mit dem Ausströmungsrohre verbundenes Sammelgefäß ansaugt — also im Grunde eine Einrichtung, die mit den von Zuntz angewandten wesentlich übereinstimmt, wie auch das Thermobarometer von Zuntz bei diesem Apparat aufgenommen ist (vgl. unten S. 121).

Die Luftproben, und außerdem noch nach Ende des Versuches die Kammerluft, werden mittels des Apparates von Petterson an Kohlensäure und Sauerstoff analysiert. Das geringe Volumen der Respirationskammer gestattet nämlich den Sauerstoffverbrauch mit genügender Exaktheit zu bestimmen, wie aus den vier Kontrollversuchen mit Verbrennung von Alkohol hervorgeht, wo der Fehler nur 0.5 bis 3.2, im Mittel etwa 1.8 % betrug.

Mit diesem Apparate wurden Versuche von 12 bis zu 13 Stunden Dauer ausgeführt.

7. Der Apparat von Grafe (1910). Der Inhalt der Respirationskammer beträgt 2635 l. Die Grundfläche ist ein Rechteck, Kopf- und Fußseiten sind 0.9 m lang, die Längsseiten 2 m. Der Kopfteil des Kastens ist 1.7 m hoch. Diese Höhe behält der Kasten aber nur auf eine Strecke von 1 m bei, von da ist er nach dem Fußende abgeschrägt, so daß dieses nur 0.75 m hoch ist. Das Gerüst des Kastens besteht aus Holzbrettern; innen ist er mit Blech ausgeschlagen und mit Ölfarbe angestrichen (51).

Der Kasten steht mit der Unterfläche seiner Seitenwände in einer mit Paraffinöl gefüllten Blechrinne. Das Öffnen des Kastens geschieht durch Heben des Fußendes usw. Durch ein Gegengewicht ist der Kasten in jeder Lage ungefähr ausbalanciert, so daß es nur eines geringen Überdruckes zum Heben und Senken bedarf.

Zur Ventilation des Kastens wird die Luft des gut ventilierten Zimmers benutzt, welche im Sommer, um Sättigung mit Wasserdampf zu verhindern, durch ein U-förmiges Rohr mit Chlorkalzium oder Schwefelsäure passieren muß.

Die Ventilation geschieht mittels einer Gasuhr und die Probeentnahme erfolgt in der von Jaquet benutzten Weise.

Die Gasanalyse findet mittels des Apparates von Petterson statt.

Zur Wasserbestimmung werden durch vier kleine Gasuhren, die mit der Achse der großen Gasuhr verbunden sind, von dem Einstrom und dem Ausstrom je 2 Teilströme abgesaugt, durch Bimsstein und Schwefelsäure geleitet und das darin absorbierte Wasser durch Wägen bestimmt.

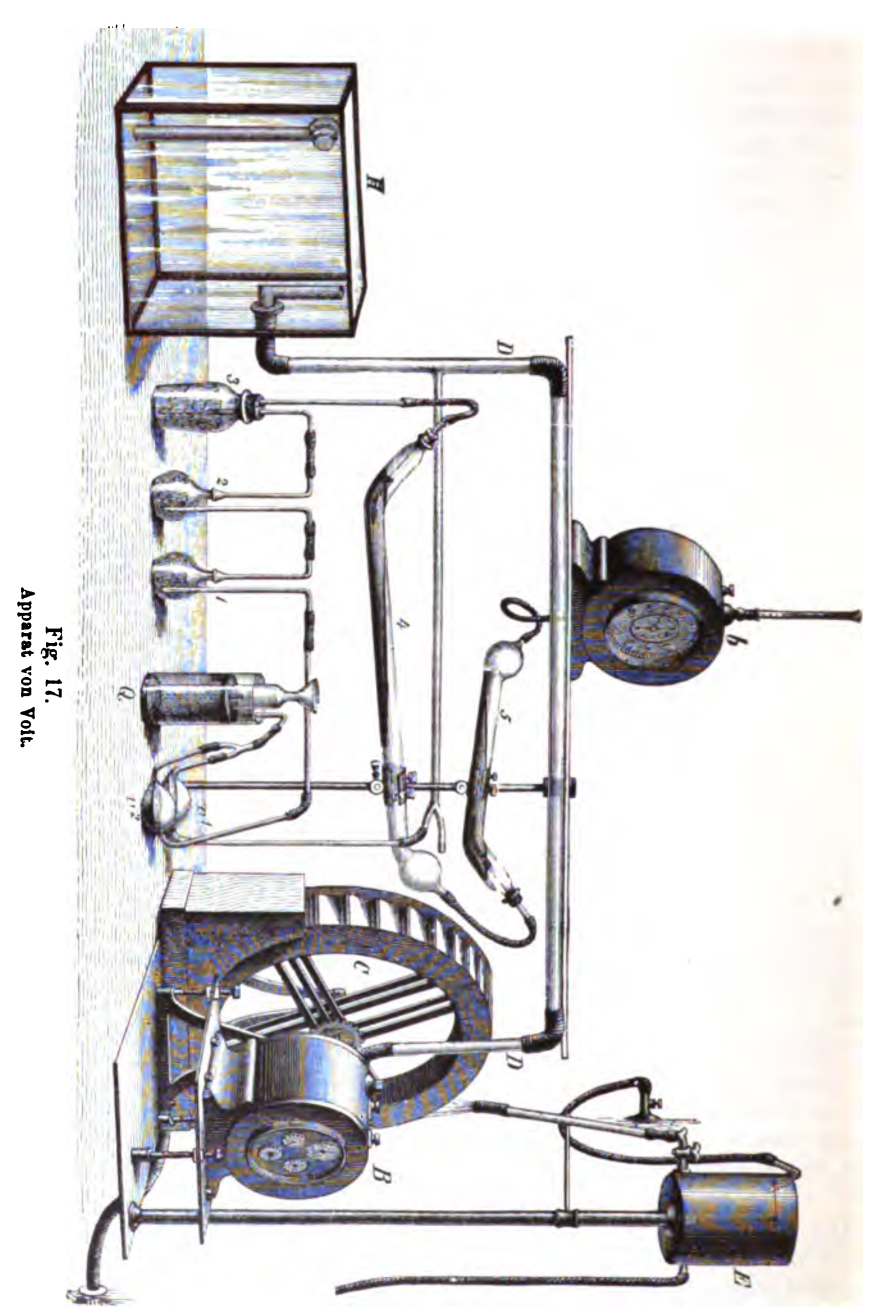


Fig. 17.
Apparat von Voit.

Kontrollversuche mit Alkohol in einer Spiritusglühlichtlampe ergaben für die Bestimmung des Wasserdampfes einen Fehler von $+ 3.76\%$, für die der Kohlensäure einen von $- 0.93\%$ und für die Sauerstoffbestimmung einen Fehler von $+ 0.93\%$.

B. Die bei Versuchen an kleineren Tieren benutzten Apparate.

8. Der kleine Respirationsapparat von Voit (1875). Das Tier befindet sich in einer kubischen Kammer von 0.4 m Seite, also mit einem Inhalt von 64 l. Sie besteht aus einem Zinkrahmen, in welchen Glasscheiben eingesetzt sind (53).

Bei der Ventilation tritt die Luft unten in den Kasten ein, streicht über das Tier weg und tritt oben aus.

Die Ventilation der Respirationskammer geschieht durch die Bewegung der messenden Gasuhr, deren Achse mit dem Motor (einem oberschlächtigen

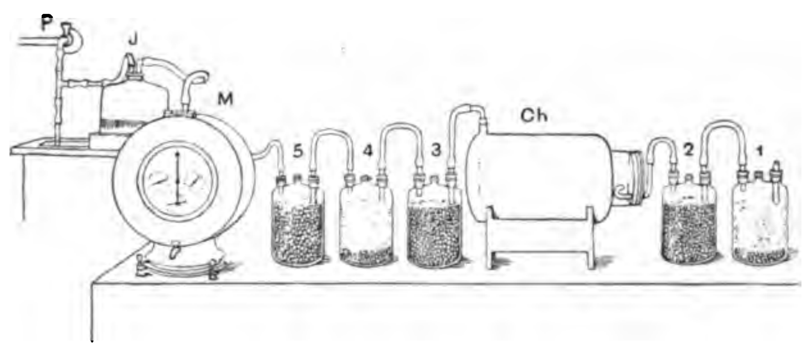


Fig. 18.
Apparat von Haldane.

Wasserrad) in Verbindung steht. Die Größe der Ventilation kann durch Variieren der Menge des auf das Rad auffallenden Wassers zwischen 450 und 3400 l Luft in der Stunde variiert werden.

Zur Analyse wird sowohl von der eintretenden als von der austretenden Luft ein aliquoter Teil durch kleine Pumpen Q, die von der Achse des Wasserrades getrieben werden, abgezweigt und dann durch die Absorptionsapparate für Wasser (1.2) und Kohlensäure (4.5) getrieben; zuletzt passiert diese Luft Gasuhren, woselbst sie gemessen wird. Vgl. die Abbildung in Fig. 17, welche diese Anordnungen schematisch darstellt und wohl keine weitere Erklärung nötig hat. Fünf Kontrollversuche mit reinem Olein ergaben für die Kohlensäurebestimmung einen durchschnittlichen Fehler von 1.75 % (— 0.4 bis + 2.5). Bei Verdunsten von Wasser betrug der Fehler in drei Versuchen + 1.4 bis + 5.5 Proz.

8b. Der Respirationsapparat von Leyden und Fränkel (1879) ist dem Apparate von Voit nachgebildet. Die Respirationskammer ist 90 cm lang, 60 cm breit und 70 cm hoch; Inhalt 375 l. Auf die Bestimmung des Wasserdampfes wurde verzichtet (55).

9. Der Respirationsapparat von Pott (1875) besteht aus einem fast kubischen Kasten von 27.5 cm Höhe und 23.5 cm Breite und Länge = etwa 17 l. Inhalt; die Luftbewegung wird durch einen Aspirator unterhalten. Die eintretende Luft wird durch Ätzkali und Barytwasser von ihrer Kohlensäure befreit; die austretende Luft passiert drei Glaskölbchen mit Barytwasser, wo die gebildete Kohlensäure absorbiert und gewogen wird (54).

9b. Der Apparat von Haldane (1892) stimmt mit dem von Pott wesentlich überein (56). Die Respirationskammer — eine Flasche mit weitem Hals oder ein Kasten aus Blech — hat einen Inhalt von etwa 16 l. Die eintretende Luft passiert zwei Woulffsche Flaschen von etwa 3 l Inhalt, woselbst ihre Feuchtigkeit durch Bims-

stein und Schwefelsäure und ihre Kohlensäure durch Natronkalk absorbiert werden. Die Feuchtigkeit und die Kohlensäure in der austretenden Luft stammen also nur vom Tiere selber. Diese passiert zuerst eine Flasche zur Absorption der Feuchtigkeit, dann zwei, wo die Kohlensäure absorbiert wird.

Die Ventilation wird durch eine Wasserstrahlpumpe unterhalten, gerade vor dieser ist eine Glasglocke J, um schnelle Druckschwankungen im Apparate aufzuheben. In der Leitung ist noch eine Gasuhr zur Messung der Menge der ausventilierten Luft eingeschaltet (vgl. Fig. 18).

Der Sauerstoffverbrauch wird in folgender Weise bestimmt. Vor und nach dem Versuch wird die Respirationskammer samt dem darin eingeschlossenen Tier gewogen. Die hierbei stattfindende Differenz wird von der gesamten Abgabe von Feuchtigkeit und Kohlensäure abgezogen und stellt den Sauerstoffverbrauch dar. (Vgl. auch Pembrey (87) und Vernon (86)).

9°. Der Apparat von Weinland (1906) ist vom Autor bei seinen Untersuchungen über den Stoffwechsel der Fleischfliege benutzt worden. Die Tiere befinden sich in einem kleinen Rezipienten; die eintretende Luft ist durch Barytwasser bezw. Schwefelsäure von Kohlensäure und Wasserdampf befreit worden. Die austretende Luft wird in zwei Schwefelsäurekölbchen ihrer Feuchtigkeit beraubt, sodann mit Wasser befeuchtet und alsdann durch 2 Röhren mit Barytlauge geleitet. Die Ventilation findet durch eine Wasserstrahlpumpe statt (94).

Andere Versuchsanordnungen nach dem Pettenkoferschen Prinzip sind von Rosenthal (57) und Laulanié (58, 59) angegeben worden.

Drittes Kapitel.

Respirationsapparate ohne Ventilation mit stetiger Erneuerung des verbrauchten Sauerstoffes.

Die schon von Lavoisier praktisch verwertete Idee, das Tier in einem geschlossenen Raum zu halten, die gebildete Kohlensäure durch Lauge zu entfernen und statt dessen Sauerstoff in entsprechender Menge zuzuführen, wurde von Regnault und Reiset bei der Konstruktion ihres Respirationsapparates zugrunde gelegt, und derartige Apparate sind dann immer wieder gebaut worden. Auf dem gegenwärtigen Stand der Sauerstoffanalyse läßt sich tatsächlich nur mittels solcher Apparate der Sauerstoffverbrauch bei länger dauernden Versuchen direkt und mit genügender Exaktheit bestimmen.

Ich werde hier zuerst die Versuchsanordnung der französischen Autoren beschreiben und dann die später veröffentlichten Apparate, je nachdem sie für größere oder kleinere Tiere beabsichtigt sind, besprechen.

1. Der Apparat von Regnault und Reiset (1849) besteht aus einer Kammer, wo das Tier eingeschlossen ist, und aus Vorrichtungen zur Absorption der Kohlensäure und zum Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes (60).

Die Respirationskammer (Fig. 19) besteht aus einer Glasglocke von 45 l Inhalt, deren untere Öffnung auf einer gußeisernen Scheibe (DD′) festgehalten ist. Diese Scheibe trägt zwei konzentrische Rinnen für die Glocke A und das sie umgebende Glasgefäß BB′ und hat in ihrer Mitte eine Öffnung, durch welche das Tier hineingeführt wird und welche

dann luftdicht geschlossen wird. Das Tier ruht auf einer mehrfach durchlöcherten Blechscheibe, die mit Holz bedeckt ist, damit das Tier nicht mit dem Metall in Berührung komme.

Das Glasgefäß ist mit Wasser gefüllt.

Die obere Öffnung der Glocke ist von mehreren Röhren durchbohrt. Eine Röhre steht mit dem Quecksilbermanometer abc, welches den im Systeme herrschenden Druck angibt, in Verbindung. Durch zwei andere Röhren kommuniziert die Glocke mit dem Apparat zur Absorption der Kohlensäure rechts in der Figur. Der Sauerstoff tritt durch die Röhre r in die Glocke hinein.

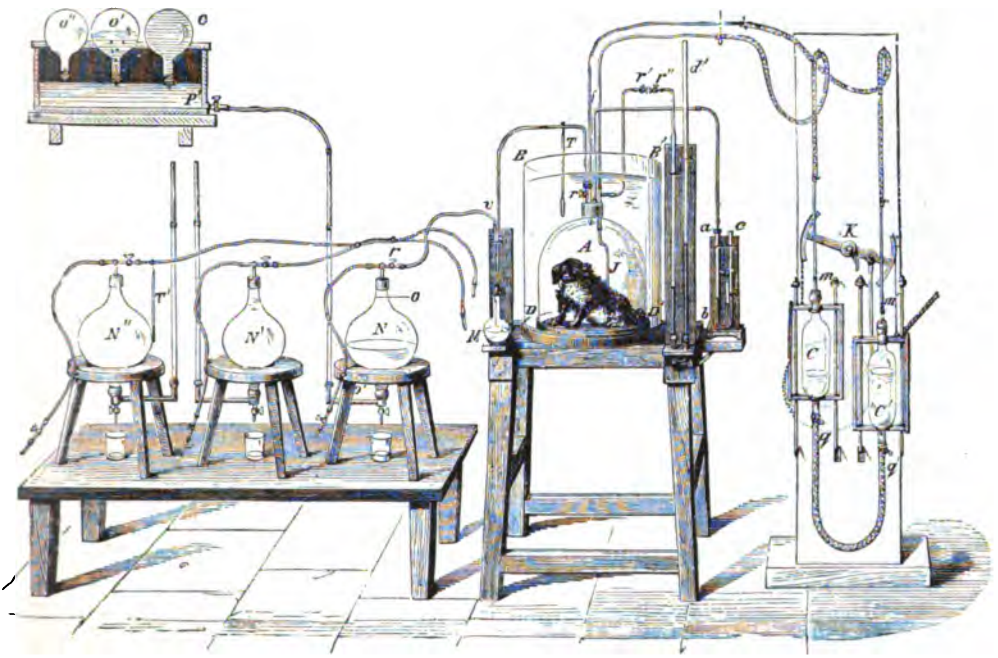


Fig. 19.
Apparat von Regnault-Reiset.

Der Apparat für die Absorption der Kohlensäure besteht aus zwei zylinderförmigen Pipetten, C, C′, von je 3 l Inhalt, welche unten durch den Schlauch q miteinander verbunden sind und oben durch die Röhren und Schläuche m, m′ mit der Glocke A in Verbindung stehen. Diese Gefäße enthalten zusammen etwa 3 l einer genau gewogenen Kalilauge von bekannter Zusammensetzung. Sie sind in eisernen Stutzen aufgehängt und können durch einen Motor wechselweise gehoben und gesenkt werden.

Wenn in einem gegebenen Augenblick die Pipette C ihren höchsten und die Pipette C′ ihren tiefsten Stand hat und nun die entgegengesetzte Bewegung erfolgt, so steigt die Lauge in C′ und sinkt in C herab. Infolgedessen wird Luft aus der Glocke A in C aspiriert und gleichzeitig aus C′ Luft in A hineingetrieben. Durch die Bewegungen dieser Gefäße wird also die Luft von der Glocke A wechselweise nach der einen Pipette aus A

aspiriert und gleichzeitig von der anderen Pipette nach A getrieben. Dabei wird die Luft von der Kohlensäure befreit und die nach A wiederströmende Luft hat also ein kleineres Volumen als die daraus aspirierte.

Das Gesamtvolumen der im Systeme enthaltenen Luft würde also abnehmen, wenn nicht eine entsprechende Menge reinen Sauerstoffes zugeführt werden würde. Dies findet durch den links in der Fig. 19 abgebildeten Apparat statt.

Drei große ballonförmige Gefäße N,N',N" tragen oben je ein durch Hähne geschlossenes T-förmiges Rohr; das eine Ende desselben steht unter Vermittlung der Flasche M mit der Glocke A in Verbindung; das andere Ende dient zum Hineinbringen von reinem Sauerstoff. Unten ist mit jedem Ballon ein zweigeteiltes Rohr vereinigt. Der eine Ast ist durch einen Hahn geschlossen und dient zum Austritt des Wassers, wenn der Ballon mit Sauerstoff gefüllt werden soll. Der andere Ast mit einer Röhre verbunden, welche ihrerseits mit dem Wasserbehälter P kommuniziert. Durch die umgestürzten Flaschen O,O',O" wird ein konstanter Druck hier erzeugt.

Die Gefäße N,N' und N" werden das eine nach dem anderen mit der Glocke A in Verbindung gesetzt. Da der Druck in ihnen, dank dem Druckgefäß P, konstant erhalten wird, muß Sauerstoff aus ihnen in die Glocke A hineinströmen, sobald wegen der Absorption der Kohlensäure in den Pipetten CC' der Druck innerhalb des Systems etwas herabgesunken ist.

Das Manometer d', welches unter Vermittlung der Röhre r',r" mit der Glocke kommuniziert, dient, um Proben aus der Glockenluft nach Belieben zu entnehmen.

Als Sperrflüssigkeit in den Sauerstoffgefäßen dient eine konzentrierte Lösung von Chlorkalzium.

Jeder Versuch dauert, bis alle drei Sauerstoffgefäße bis zu einer bestimmten Marke entleert worden sind; die letzten 300 bis 400 ccm werden unter einem erhöhten Druck in die Glocke A getrieben und der Versuch so lange fortgesetzt, bis der Druck innerhalb der Glocke dem atmosphärischen Druck genau gleich geworden ist. Im selben Augenblick wird mittels des Manometers d' eine Luftprobe aus der Glocke entnommen und die Bewegung des Apparates zur Absorption der Kohlensäure sistiert.

Die in diesen aufgenommene Kohlensäure wird durch Schwefelsäure herausgetrieben, durch Kalilauge wieder absorbiert und dann gewogen. Direkt können die Gefäße CC' nicht gewogen werden, da hier außerdem noch der von dem Tier abgegebene Wasserdampf aufgenommen worden ist.

Zu dieser Kohlensäure wird die Kohlensäure, die sich am Ende des Versuches in der Glocke A befindet, addiert.

Die Menge des verbrauchten Sauerstoffes ergibt sich aus dem Volumen der Sauerstoffgefäße und der Analyse der Luft in der Glocke A.

A. Die bei Versuchen am Menschen und größeren Tieren benutzten Apparate.

2. Der Apparat von Reiset (1863) hat eine Respirationskammer von elliptischem Querschnitt und einem Inhalt von 550,1 (61). Seinem Bau nach stimmt dieser Apparat in allem wesentlichen mit dem von Regnault und Reiset überein, nur sind die Dimensionen aller Apparatenteile hier entsprechend größer. Die Sauerstoffzufuhr findet aus



zwei Gasometern von je 220 l Inhalt statt. Der Apparat ist für Schafe, Kälber, Schweine usw. bestimmt.

3. Der Apparat von Hoppe-Seyler (1894). Die Respirationskammer (62), ein liegender Zylinder von 2 m Länge und einem Durchmesser von 1.66 m und 4.840 cbm Inhalt (Fig. 20), befindet sich im Parterre, das Triebwerkzeug usw. im Keller. In die Kammer münden mehrere Röhren, eine ist mit dem Manometer M verbunden; die andere läßt Sauerstoff von

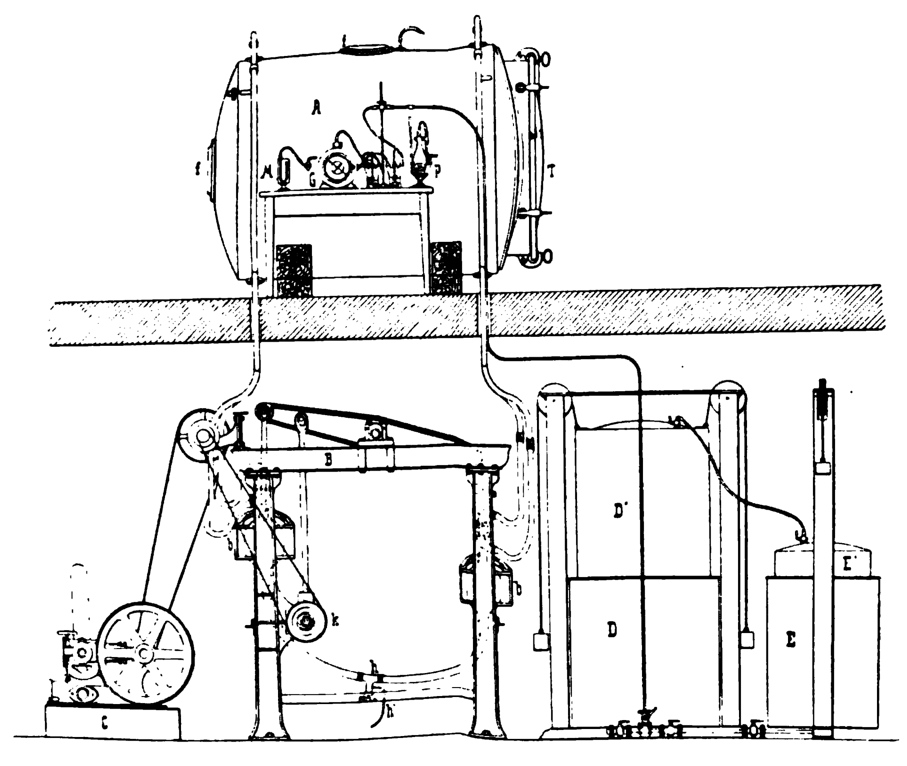


Fig. 20.
Apparat von Hoppe-Seyler.

der Gasuhr G eintreten, durch die dritte können in das mit Quecksilber gefüllte Gasometer p Luftproben von der Luft in der Kammer entnommen werden; durch weitere Röhren steht das Innere der Kammer mit den vier Kalilauge enthaltenden Flaschen bb in Verbindung; diese Flaschen bewirken in ganz derselben Weise wie im ursprünglichen Apparat von Regnault und Reiset die Absorption der gebildeten Kohlensäure. Der Inhalt jeder Flasche beträgt 15 l.

Die Sauerstoffzufuhr findet aus dem kupfernen Gasometer D von etwa $^1/_2$ cbm Gasraum statt (betreffend die zur Verhinderung des Übertrittes von Stickstoff in das Gasometer benutzten Vorrichtungen vgl. 62, S. 584). Von diesem geht die Leitung durch die Wasserflaschen und die Gasuhr G zur Respirationskammer.

Um eine allzu große Zunahme der Temperatur in der Respirationskammer zu verhindern, läuft am Dache derselben ein Wasserleitungsrohr in zehnfacher Hin- und Herbiegung an der ganzen Länge des Zylinders hin. Durch schwächeren oder stärkeren Wasserstrom kann der durch die Versuchsperson erwärmte Innenraum auf passender Temperatur erhalten werden.

Die gebildete Kohlensäure wird durch Wägung der vermittels Schwefelsäure aus der Kalilauge ausgetriebenen und im Kaliapparate aufgefangenen Kohlensäure bestimmt; hierzu kommt noch die am Ende des Versuches in der Respirationskammer vorhandene Kohlensäure, die nach Pettenkofer

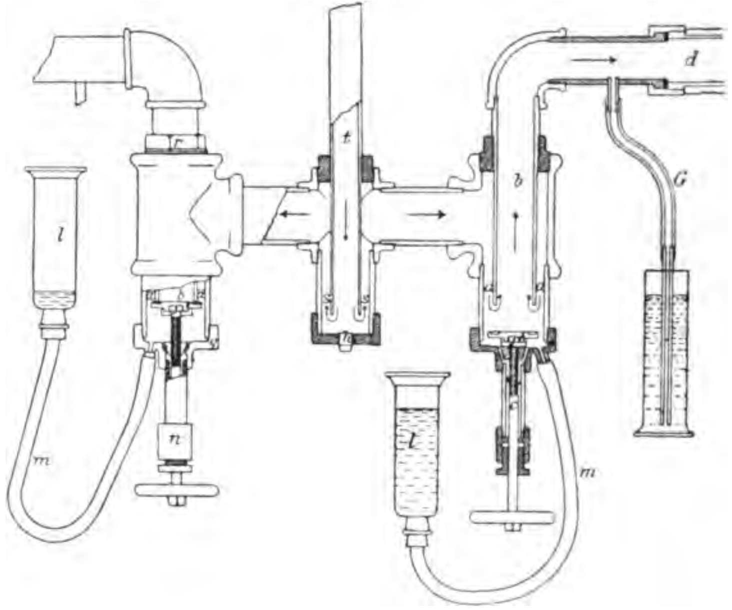


Fig. 21.
Ventil von Atwater-Benedict.

bestimmt wird. Die Menge des verbrauchten Sauerstoffes erhält man durch Ablesen der Gasuhr G und Analyse der Luft in der Respirationskammer. Es versteht sich von selber, daß die Gasmischung in dem Gasometer D auch analysiert werden muß, da der Sauerstoff hier nie ganz rein ist.

4. Der Apparat von Atwater und Benedict (1905). Die Anordnungen für die Bestimmung des respiratorischen Gaswechsels im neuen Kalorimeter der amerikanischen Autoren sind folgende (63).

Die Respirationskammer hat eine Länge von 2.15 m, eine Breite von 1.22 m und eine Höhe von 1.92 m; der Inhalt beträgt also 5 cbm. Die Wände bestehen innen aus Kupferblech.

Die Bewegung der Luft wird hier durch ein Gebläse unterhalten. Vor diesem findet sich eine, von einem Quecksilberventil geschlossene Röhre zur Probeentnahme der aus der Kammer strömenden Luft.

Nach dem Gebläse teilt sich die Röhrenleitung in zwei Zweige, welche jeder für sich zur Absorption und Analyse benutzt wird, wodurch der Ver-

auch ohne Unterbrechung in einzelne Abschnitte geteilt werden kann. Die Trennung der beiden Systeme wird mittels der in Fig. 21 abgebildeten Ventile zuwegegebracht.

Die Luft strömt in der Röhre t vom Gebläse her und geht dann um den Raum s herum; ihr stehen jetzt zwei Wege nach rechts und links offen. Links ist indessen die Passage dadurch geschlossen, daß gegen a eine Platte b gepreßt ist und Quecksilber aus dem Gefäß l außerdem den darunter liegenden Raum gefüllt hat. Rechts ist die Bahn offen und die Luft strömt in der Richtung der Pfeile weiter.

Sie passiert jetzt zur Absorption von Wasserdampf durch ein Gefäß mit Schwefelsäure, wo sie dreimal durch die Säure gehen muß. Die Menge Schwefelsäure in jedem Gefäß beträgt etwa $5^1/_2$ kg und genügt zur Absorption von etwa 500 g Wasserdampf (vgl. Fig. 22).

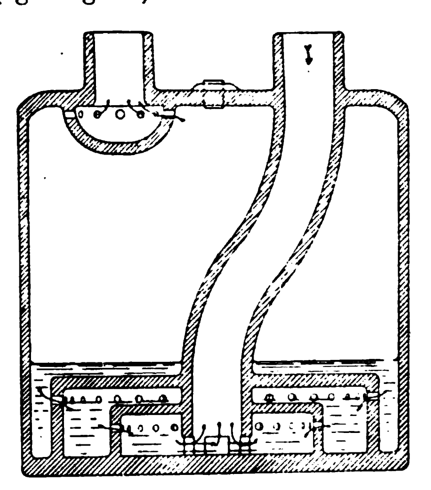


Fig. 22.
Absorptionsgefäß für Wasserdampf nach Atwater-Benedict.

Nun folgt ein Gefäß mit Natronkalk zur Absorption der Kohlensäure und ein zur Absorption von Wasserdampf, wonach die Luft nach der Respirationskammer wieder gelangt.

Auf diesem Abschnitt der Röhrenleitung findet sich der Ort, wo Sauerstoff in die Leitung einströmt. Der Sauerstoff findet sich in stark komprimierter Form in Stahlzylindern. Von diesem wird das Gas in einen Kautschuksack gelassen und strömt dann in ein U-förmiges Rohr mit Natronkalk zur Absorption etwa vorhandener Kohlensäure und durch ein Gefäß mit Bimsstein und Schwefelsäure, wo die Feuchtigkeit zurückgehalten wird. Das so gereinigte Gas wird endlich von Zeit zu Zeit in das System hineingelassen. Später (64, S. 69) haben Benedict und Carpenter Vorrichtungen konstruiert, welche die Zufuhr von Sauerstoff automatisch besorgen.

Um Druckschwankungen im Systeme zu vermeiden, ist mit dem Apparat noch eine Dose mit Kautschuküberzug wie in einem anderen unten zu beschreibenden Apparat (vgl. S. 134) verbunden.

Die Bestimmung des abgegebenen Wasserdampfes geschieht durch Wägung des entsprechenden Gefäßes. Hierzu kommt indessen noch die Wassermenge, welche in der Kammer selbst kondensiert worden ist und in besonderen Gefäßen gesammelt wird (vgl. 63, S. 23).

Auch die Kohlensäureabgabe wird durch Wägung der Absorptionsgefäße bestimmt. Hierzu wird die in der Luft im Apparate vorhandene Kohlensäure addiert.

Der Sauerstoffverbrauch läßt sich bestimmen durch Wägung der Sauerstoffzylinder und Analyse der Luft im Systeme.

Einige Kontrollversuche ergaben für die Bestimmung der Kohlensäure eine Abweichung von — 0.5 bis + 0.3 %, für die des Wassers eine Abweichung von — 0.7 bis + 1.8 % und für die des Sauerstoffes eine Abweichung von + 0.3 bis + 1.2 %.

Über den Bau anderer Formen von Respirationskammern vgl. Benedict und Carpenter (64).

Der große Respirationsapparat, den Zuntz in seinem neuen Institut errichtet hat, ist meines Wissens noch nicht beschrieben worden.

B. Die bei Versuchen an kleineren Tieren benutzten Apparate.

5. Der Apparat von Hoppe-Seyler (1876). Die Luftbewegung wird durch zwei in Quecksilber gehende Spirometerglocken unterhalten.

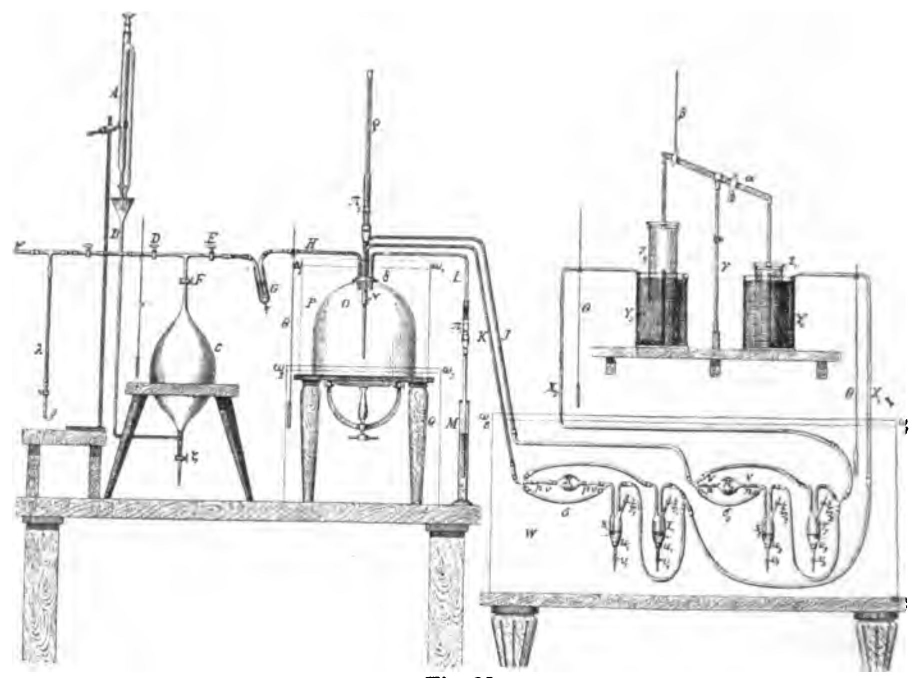


Fig. 23.
Apparat von Pflüger.

Auf ihrem Wege zu und von den Glocken muß die Luft je zwei zweihalsige Flaschen mit Kalilauge passieren, die zu gleicher Zeit als Ventile und zur Absorption der Kohlensäure dienen. Aus einer Mariotteschen Flasche wird der verbrauchte Sauerstoff durch frische Luft ersetzt (65).

6. Die Methode von Pflüger (1877). Die Respirationskammer O (vgl. Fig. 23) hat einen Inhalt von 3.4 l und ist in ein Gefäß mit Wasser eingeschlossen (66). Die Luftbewegung findet durch zwei in Quecksilber gehende Spirometerglocken (Y_1, Y_2) statt. Auf dem Wege zu und von diesen geht die Luft durch eine Anzahl mit Kalilauge beschickter Ventile (S_1, S_2, T_1, T_2), in welchen die Kohlensäure absorbiert wird. Vor den Ventilen passiert die Luft die Kugel R_1 bzw. R_2; die in dieser befindliche Luft hat natürlich die gleiche Zusammensetzung wie die Luft in der Kammer; wenn die Verbindungsschläuche bei μ_1 V zugeklemmt werden, kann sie entfernt werden, und in diesem Falle geht die Luftströmung durch σ_1 bzw. σ_2. Der ganze Ventilapparat wird im Wasser gehalten.

Die Zufuhr von Sauerstoff findet aus dem Ballon C statt. Dieser ist durch die Röhre φ mit einem Gasometer verbunden; die Röhre λ dient zur Probeentnahme des Gases. Durch die Röhre E und die Waschflasche G tritt der Sauerstoff in die Respirationskammer hinein, und zwar unter dem Druck der in der Röhre B befindlichen konzentrierten Chlorkalziumlösung. Die Zufuhr geschieht von Zeit zu Zeit, indem durch Öffnen des Hahnes von A die Lösung tropfenweise in das Druckrohr ausfließt. Hierdurch kann eine genaue Messung der aus dem Gefäß C herausgetriebenen Gasmenge erzielt werden.

Später (68) wurde der Apparat so verändert, daß der Druck im Ballon C automatisch geregelt wurde, indem, wie im Apparate von Regnault und Reiset, mittels einer umgestürzten Flasche das Niveau der Flüssigkeit im Rohre B immer konstant erhalten wurde.

Übrigens wurden die Kautschukverbindungen in großem Umfange durch Schliffe ersetzt und einige andere Abänderungen beim Apparate vorgenommen. Vgl. auch Bleibtreu (10, S. 366).

5. Der Apparat von Zuntz und Oppenheimer (1905). Die Bestimmung der Temperatur in der 1 m langen, 0.4 m breiten und 0.4 m hohen Respirationskammer von insgesamt 160 l Inhalt geschah in folgender Weise (75). Ein 2.25 m langes, den Kasten in mehreren Windungen durchziehendes, kupfernes, innen verzinktes Rohr ist mit einem Manometer verbunden, welches die Druckschwankungen der in dem Rohr eingeschlossenen Luft mißt. Da diese von den Druck- und Temperaturschwankungen in der Kammer abhängig sind, stellen seine Angaben diejenigen Spannungsänderungen dar, die die Luft der Kammer erfahren hätte, wenn ihre Masse keiner faktischen Änderung unterworfen gewesen wäre. Wenn man aber diese Änderungen in Abrechnung bringt, d. h. um die am Instrumente (Thermobarometer) abgelesene Größe in Millimeter Hg den Anfangsbarometerstand in positivem oder negativem Sinne korrigiert, so kann man das Endvolumen des Gases in der Kammer auf Grund der anfänglichen Werte für Druck und Temperatur berechnen. Ein zweites Manometer mißt den Luftdruck in der Kammer.

Die Manometer, welche durch Niveaukugeln auf den Nullpunkt eingestellt werden, sind mit 72 %iger Chlorkalziumlösung, deren spezifisches Gewicht genau $^1/_{10}$ von dem des Quecksilbers ist, gefüllt.

Durch einen elektrisch getriebenen Ventilator wird die Luft des Atemraumes in einem Kreise herumbewegt. Dabei wird sie mittels einer besonderen Pumpe durch Kaliventile aus der Respirationskammer ausgesaugt und wieder in sie zurückgetrieben.

Alle Kautschukverbindungen sind unter Wasser versenkt. Die Verbindung der Respirationskammer mit den in der zweiten Wasserwanne befindlichen Ventilen vermitteln passend gebogene Bleiröhren.

Aus dem Sauerstoffreservoir A wird das Gas durch die Leitung V, W_1, W_2 (Fig. 25) dem zur unteren Hälfte der Pumpe führenden Ventilationsstrome beigemengt.

In bezug auf diesen Apparat sind nach Oppenheimer (76) noch folgende Einzelheiten zu erwähnen.

Zum Ausgleich der Temperatur in der Wanne, wo die Respirationskammer eingeschlossen ist, wird während des ganzen Versuches mit Hilfe

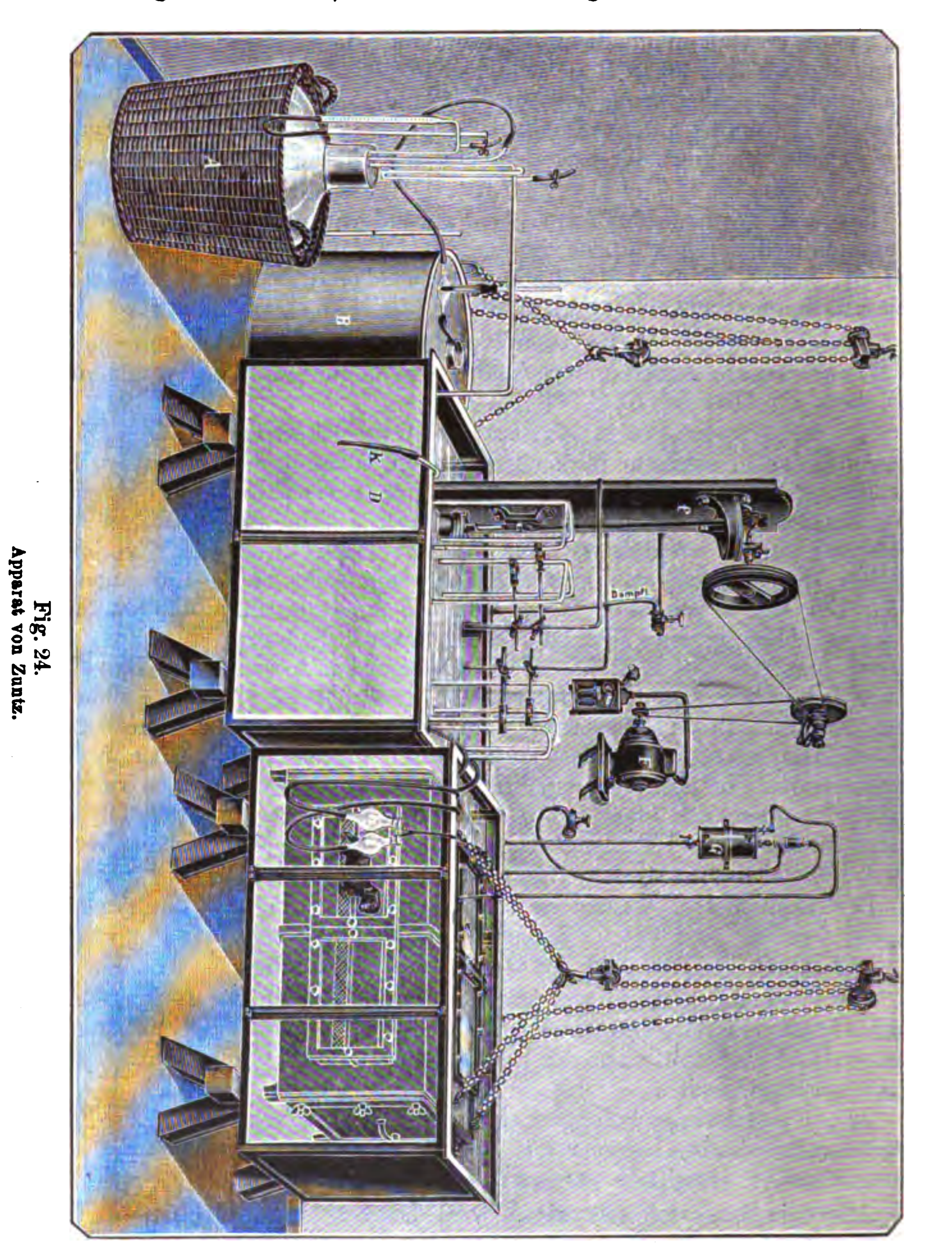


Fig. 24.
Apparat von Zuntz.

einer Wasserstrahlpumpe ein kräftiger Luftstrom getrieben. Wenn die Wassertemperatur zu sehr von der Lufttemperatur abweicht, wird das Wasser durch den Dampf von der Zentralheizung erwärmt.

Das Prinzip der Sauerstoffzufuhr ist, das Gas nicht zu messen, sondern die seinem Volumen entsprechende Wassermenge zu wägen. Dazu dient ein Ballon von etwa 70 l Inhalt, der mit einem dreifach durchbohrten Gummistopfen verschlossen ist (Fig. 24). Durch diesen geht erstens ein bis auf den Boden reichendes Glasrohr, das mit dem mittels Flaschenzugs in beliebiger Höhe einstellbaren Wassergefäß B in Verbindung steht und den Zu- und

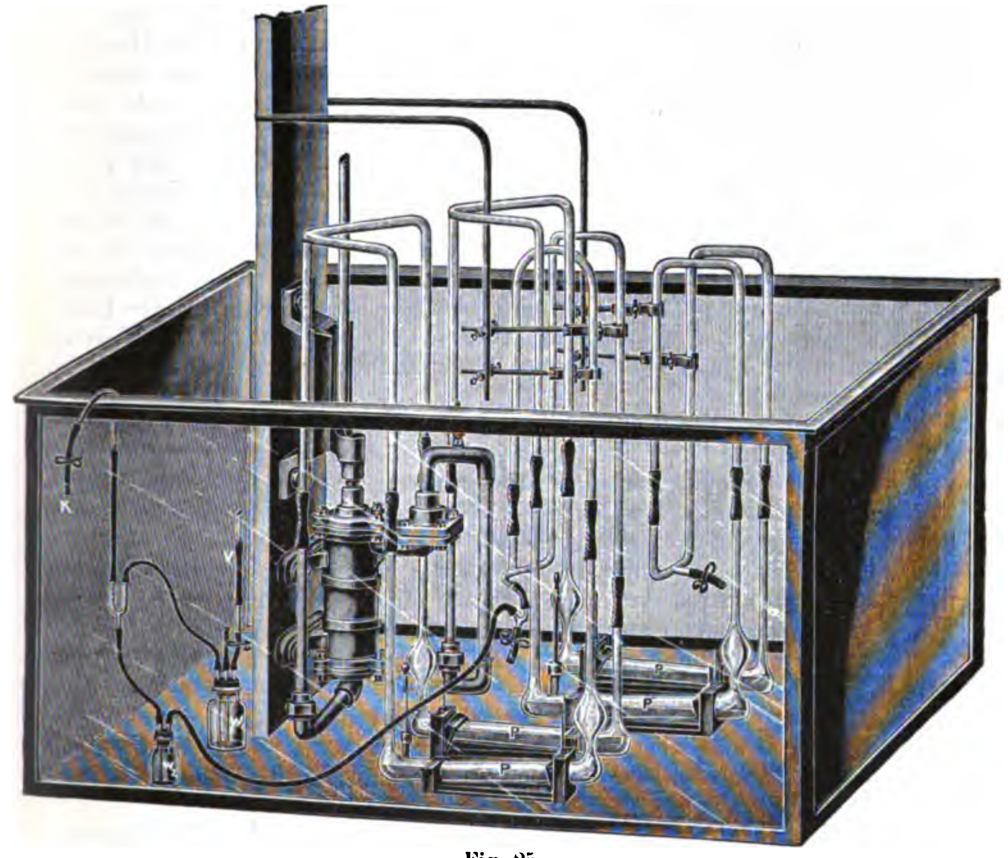


Fig. 25.
Apparat von Zuntz.

Abfluß des Wassers vermittelt. Das zweite Rohr geht nur bis dicht unter den Stopfen und dient als Zu- und Ableitungsrohr für den Sauerstoff. Es geht als einheitliches Glasrohr über den Rand der Ventilwanne, so daß die dort befindliche Schlauchverbindung unter Wasser ist. Der Sauerstoff geht dann durch zwei Waschflaschen mit sehr verdünnter Kalilauge zur Respirationskammer. An dem langen horizontalen Schenkel dieses Rohres ist ein Wassermanometer zur Einstellung des in der Flasche befindlichen Sauerstoffes auf Atmosphärendruck angebracht. Das dritte Rohr dient als Thermobarometer (vgl. oben S. 107).

Die Messung des Sauerstoffes gestaltet sich nun folgendermaßen. Die Flasche A wird mit sauerstoffgesättigtem Wasser vollkommen gefüllt. Dann

wird sie auf einer auf 10 g genauen Dezimalwage gewogen und nun aus einer Sauerstoffbombe Sauerstoff eingeleitet. Das verdrängte Wasser wird in das etwa 150 l fassende Blechgefäß B gedrückt. Wenn die Flasche ziemlich mit Sauerstoff gefüllt ist, wird die Verbindung zur Bombe geschlossen und durch passende Einstellung des Gefäßes B der Druck in der Flasche annähernd auf den atmosphärischen ausgeglichen Der genaue Ausgleich wird dann unter Kontrolle des Manometers bewirkt, das man aber erst dann öffnen darf, wenn der Druck fast ausgeglichen ist. Ist der Druck in der Flasche dem atmosphärischen genau gleich, so sperrt man auch die Verbindung zum Wassergefäß ab und liest das Thermobarometer ab. Dann wägt man die Flasche wieder und berechnet aus diesen Daten unter Berücksichtigung notwendiger Thermometerkorrekturen die Menge des in die Flasche hineingebrachten Sauerstoffes. Das Gefäß B wird dann in die Höhe gezogen, die Ableitung der Flasche A mit der Waschflasche in der Wanne verbunden und so der Sauerstoff unter leicht regulierbarem Druck in den Apparat hineingeleitet. Am Schluß des Versuches wird die Verbindung zur Waschflasche abgeklemmt, durch Herablassen des Gefäßes B der Druck mit dem atmosphärischen ausgeglichen usw. So erhält man den Wert für den noch in der Flasche gebliebenen Sauerstoff und daraus ohne weiteres den verbrauchten.

Die Absorption der Kohlensäure geschieht bei dem neuesten Modell des Apparates in einem Topf aus laugefestem Gußeisen, in den der Luftstrom von unten eintritt, um ihn oben wieder zu verlassen. In diesem Gefäße wird durch eine kleine von demselben Motor wie der Ventilator betriebene Reinnickelpumpe ein Springbrunnen von starker Kalilauge erzeugt, der dann über Reinnickelsiebe herabtropft, so daß die Luft an diesem feinen Regen von Lauge vorbeistreichen muß. Durch einen Hahn am Boden dieses Topfes kann die Lauge zu jeder Zeit während des Versuches ganz oder teilweise abgelassen und analysiert werden, was also ermöglicht, den Versuch in mehrere Teile zu zerlegen.

8. Der Apparat von Krogh (1906). Bei diesem Apparat (77) sind alle Dimensionen möglichst klein, und zwar beträgt das Volumen der Respirationskammer nur etwa 159 ccm und das der übrigen Teile des Apparates etwa 195 ccm.

Fig. 26 gibt diesen Apparat schematisch wieder. Es wird hier nur elektrolytisch dargestellter reiner Sauerstoff an Stelle des verbrauchten benutzt, und zwar wird die Elektrolyse ununterbrochen fortgesetzt, man möge nun experimentieren oder nicht; nie wurde der Sauerstoff zu Versuchen gebraucht, bevor wenigstens 36 Stunden nach dem Wiederfüllen mit Wasser verflossen waren. Die Sauerstoffzufuhr zu dem Respirationsapparate findet durch die Röhre O_2 statt, und zwar ist der Druck derart reguliert, daß er konstant 15 bis 20 cm Wasser höher ist als der Druck der Atmosphäre.

Die Bewegung der Luft im Systeme wird durch eine Pumpe eigenartiger Konstruktion[1]) unterhalten; die Luft wird nach dem Vorgang von

1) Der Pumpenkolben besteht aus einer Röhre aus vernickeltem Eisen, die an richtiger Stelle durch vier permanente Magnete gehalten wird. Die Magnete werden mittels eines Exzenters nach oben und unten bewegt und dabei muß der Kolben folgen. Eine Klappe aus Aluminiumblech zwingt die Luft in der richtigen Richtung zu strömen.



Seegen und Nowak (69) zunächst durch eine Verbrennungsröhre getrieben, wo etwa vorhandene brennbare Gase durch einen glühenden Draht oxydiert werden. Dann kommt sie zu einem Gefäß mit Lauge, wo die Kohlensäureabsorption stattfindet; wie aus der Figur ersichtlich, dient dieses Gefäß auch als Ventil. Des weiteren passiert die Luft durch eine Wasserflasche und dann zurück zur Tierkammer. An verschiedenen Stellen der Leitung sind Rezipienten (a, b und c) angebracht, um nach Schluß des Versuches die

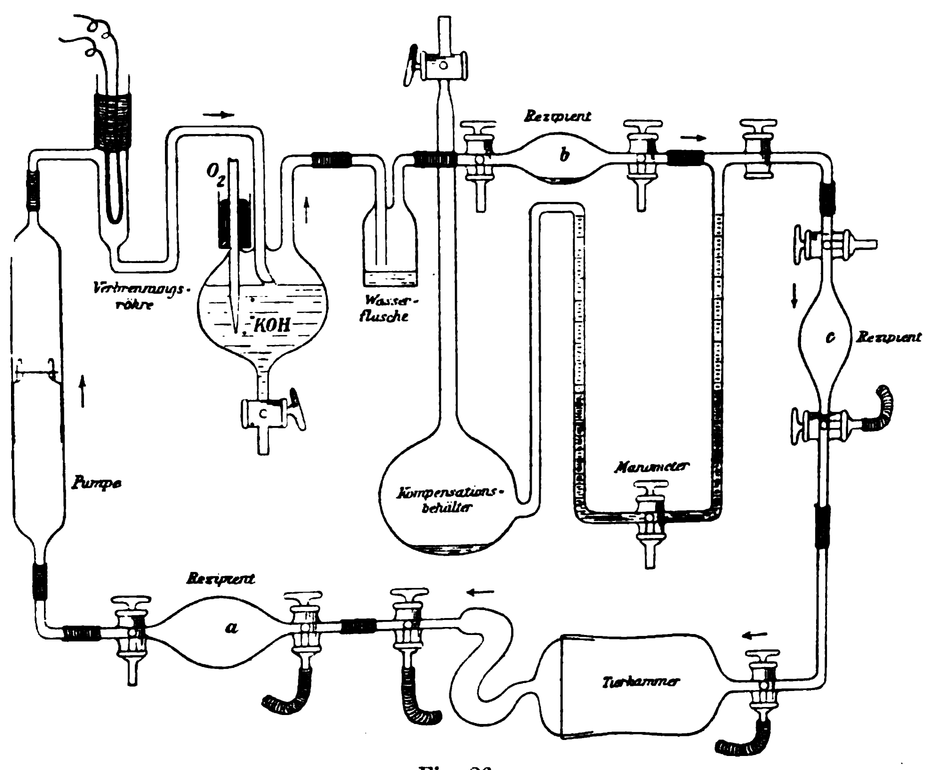


Fig. 26.
Apparat von Krogh.

Entnahme von Proben zur Analyse der Luft in verschiedenen Abschnitten des Systems zu gestatten.

Der Druck im Systeme wird durch das mit Paraffinöl beschickte Manometer angegeben und hierbei die Kompensationsmethode benutzt. Die Kompensationskugel wird sowohl als der Respirationsapparat unmittelbar vor jedem Versuch einen Augenblick geöffnet und das Gleichgewicht hergestellt. Dann wird der Hahn der Kugel geschlossen. Bei allen Ablesungen während jedes Versuches und nach dessen Beendigung wird das Gleichgewicht mit der bekannten in der Kompensationskugel eingeschlossenen Luftmenge hergestellt, und Schwankungen des Barometerdruckes oder der Temperatur des Wasserbades üben daher gar keinen Einfluß aus.

Andere Apparate nach dem Prinzip von Regnault und Reiset, welche im großen und ganzen mit den hier beschriebenen übereinstimmen, auch wenn sie einige

beachtenswerte Einzelheiten bringen, sind von Schulz (67), Seegen und Nowak (69), Nemser (71), Rosenthal (57), S. 253; (72, 74), Pflüger (73), S. 443, Nagai (78) u. a. beschrieben worden.

9. Für Wassertiere benutzen Jolyet und Regnard (1877) folgende Versuchsanordnung (83). Das Tier (Fig. 27) wird im Behälter C mit etwa 7 l Wasser eingeschlossen. Mittels des Kautschukballons A, der durch den Motor M in bestimmtem Rhythmus komprimiert wird, wird Luft durch t in das Wasser in C getrieben und strömt bei der Wiedererweiterung des Ballons von dort durch t′ und das mit Kalilauge beschickte Ventil D zum Ballon zurück. Der bei der Atmung stattfindende Verbrauch an Sauerstoff wird von dem Gefäß O, in welchem Sauerstoff unter einem konstanten Druck steht, ersetzt.

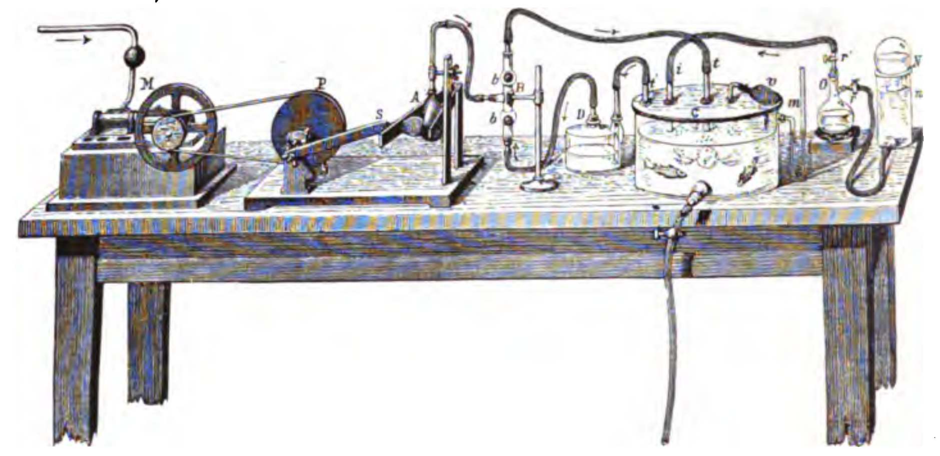


Fig. 27.
Apparat von Jolyet-Regnard.

Der Kautschuksack v regelt den Druck im Systeme, so daß dieser beim Zusammenpressen des Ballons A nicht ansteigt.

Die Kohlensäureabgabe wird durch Analyse des Wassers im Gefäß C und der Lauge in D sowie der Luft im Systeme bestimmt. Desgleichen wird die Größe des Sauerstoffverbrauches aus der Verminderung des Sauerstoffes in O sowie durch Analyse des Wassers und der Luft in C festgestellt.

10. Im Apparat von Zuntz (1901) ist der Kautschuksack von Jolyet und Regnard vermieden und Einrichtungen getroffen, um die Temperatur im Apparate konstant zu erhalten (84). Der Glasballon faßt 52 l und wird beim Versuch zu etwa 47 l mit Wasser gefüllt. Durch eine doppelt wirkende Luftpumpe wird bei jeder Bewegung des Kolbens auf der einen Seite desselben ebenso viel Luft im Ballon eingepreßt, wie auf der anderen Seite aus ihm ausgesaugt. Die ausgesaugte sowohl wie die zurückgepreßte Luft passiert Ventile mit Kalilauge zur Absorption der Kohlensäure. Die Spannung der im Ballon befindlichen Luft wird durch ein Manometer gemessen; mittels eines Thermobarometers (vgl. oben S. 109) wird ein Korrektionsfaktor zur Reduktion der Ablesungen auf Druck und Temperatur zu Beginn des Versuches erhalten.

Diese Einrichtungen befinden sich in einem großen, mit Wasser gefüllten Aquarium, in welches der Inhalt mittels einer Wasserstrahlpumpe

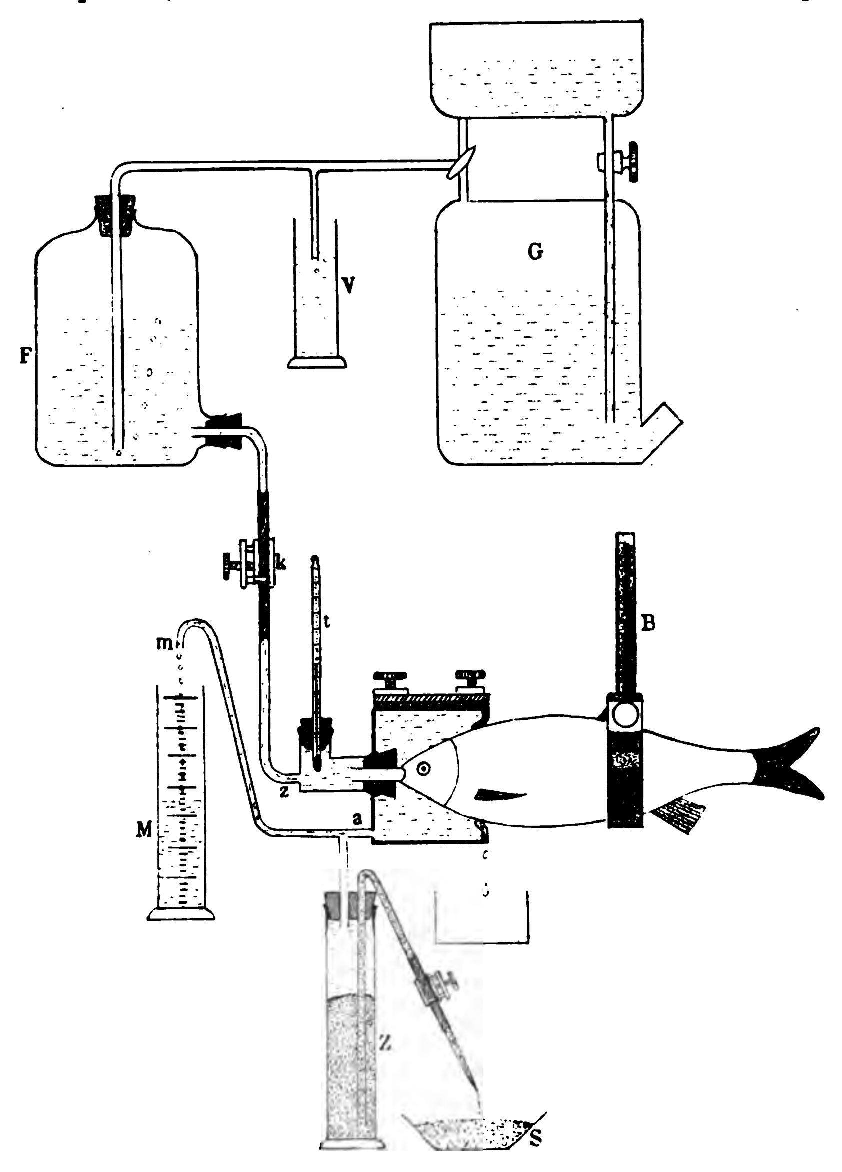


Fig. 28.
Apparat von Winterstein.

stetig durchmischt und dessen Temperatur mittels eines Thermoregulators auf einer konstanten Höhe erhalten wird.

Zum Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes strömt aus einem graduierten, in jeder Stellung äquilibrierten Gasometer Sauerstoff nach, sobald der

Druck der Luft im Ballon unter eine beliebig einzustellende Grenze gesunken ist.

11. Bei seinem Respirationsapparat bindet Winterstein (1908) ins Maul des Fisches eine Glaskanüle ein, durch welche der Zufluß von Wasser erfolgt (85, S. 90). Diese Methode gehört also eigentlich zu den in Kap. IV zu besprechenden. Die Kanüle (Fig. 28) steckt wasserdicht in einem Gummistopfen und ist außerhalb desselben mit einer Flasche mit Wasser verbunden, von welcher unter konstantem Druck Wasser in die Kanüle fließt. Kopf und Brust des Fisches sind wie aus der Figur ersichtlich in einer Kammer eingeschlossen; die Abdichtung findet durch eine Gummiplatte statt und der Hinterteil des Fischkörpers wird von der Klemme B getragen. Das bei der Atmung durch die Kiemenspalten austretende Wasser strömt weiter durch die Röhre a aus der Kammer und wird im Meßgefäß M gemessen. Mit dem genannten Rohr kommuniziert noch das vertikal davon nach unten gehende Rohr, welches in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß Z führt. Wenn die Klemme an dem daselbst noch angebrachten Heberrohr geöffnet wird, so wird allmählich Wasser zur Analyse in Z hineingesaugt. Wenn die Gummiplatte nicht den Abfluß vollständig verhindern würde, wird das hier austretende Wasser in ein besonderes Gefäß gesammelt.

Der Sauerstoffverbrauch findet sich dann, unter Berücksichtigung der in M gesammelten Wassermenge, aus der Differenz des Sauerstoffgehaltes in F und Z.

Das Gasometer G mit der Waschflasche V kommt nur dann in Betracht, wenn man Wasser durchströmen lassen will, welches einen von der Sättigung mit Luft abweichenden Gasgehalt besitzt.

Viertes Kapitel.

Atmung durch eine Respirationsmaske, ein Mundstück oder eine Trachealkanüle.

Unter allen Methoden, den respiratorischen Gaswechsel quantitativ zu verfolgen, ist die Methode, bei welcher das Versuchsindividuum durch eine Respirationsmaske oder eine Trachealkanüle atmet, die am wenigsten kostspielige. Da hier nur sehr kleine Luftmengen in Betracht kommen, läßt sich mit dieser Methode nicht allein die auch sonst leichte Bestimmung der Kohlensäure ausführen, sondern auch der Sauerstoffverbrauch kann gleichzeitig mit großer Genauigkeit bestimmt werden, was als ein sehr bedeutender Vorteil zu erachten ist.

Ein Übelstand bei dieser Methode liegt aber in der Atmung durch die Maske, bezw. das Mundstück, denn sie erfordert von seiten der Versuchsperson jedenfalls eine gewisse Übung und diese Atmungsweise wird selbst von geübten Versuchspersonen als doch zu einem gewissen Grade lästig bezeichnet.

So sagt Speck (12 S. 215): Meinen Bestrebungen, Normalzahlen für den Atemprozeß anderer Personen festzustellen, bereitete die Ungeschicklichkeit, mit der die meisten Menschen sich bei allen Dingen, die das Atmen betreffen, benehmen, nicht geringe Schwierigkeit. Schon die Aufmerksamkeit, die auf die Atemtätigkeit gelenkt wird, und mehr noch der bloße Gedanke an die Möglichkeit einer Störung oder Beschränkung des Atmens rufen eine Hast und Übereilung hervor, die unnatürlich ist, sobald die Versuchspersonen in den Apparat atmen, selbst dann, wenn sie vorher belehrt und aufmerksam gemacht wurden.

Und Katzenstein (13, S. 380) bemerkt, daß trotz aller Sorgfalt die Applikation des Mundstücks und die Atmung durch die Gasuhr in etwas eine Belästigung und damit ein kleines Plus an Arbeit hervorrufen.

Wenn es daher unbedingt zugegeben werden muß, daß das Atmen mit den hierhergehörigen Apparaten kein freies Atmen ist, bereitet es dennoch dem wirklich Geübten nur ganz geringfügige Schwierigkeiten, wie am besten aus folgenden Bestimmungen an Zuntz hervorgeht. Am 21. Sept. 1897 betrug seine CO_2 Abgabe pro Stunde und Kg Körpergewicht 0.304 g; der Versuch fand im großen Respirationsapparat zu Stockholm, ohne jedes Mundstück usw., statt. Am 1. Oktober war die CO_2 Abgabe pro Kgr. und Stunde 0.285 g; hier wurde die Bestimmung unter Anwendung eines Mundstückes ausgeführt (14, S. 111).

Ein weiterer Übelstand dieser Methode ist der, daß ein Versuch im allgemeinen nur eine kurze Zeit — meistens etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde oder etwas mehr — fortgesetzt werden kann, was natürlich nicht verhindert, daß er nach einer längeren oder kürzeren Ruhepause wiederholt wird. Eine über mehrere Stunden oder einen ganzen Tag stattfindende ununterbrochene Bestimmung des Gaswechsels läßt sich daher kaum durchführen. Meines Wissens hat nur Smith (15, S. 690) den heroischen Versuch gemacht, 18 Stunden lang mit alleiniger Unterbrechung für die Mahlzeiten durch die Maske zu atmen.

Bei der gewöhnlichen Lebensweise zeigen sich indessen, auch wenn keine eigentliche körperliche Arbeit geleistet wird, ja selbst bei Bettlage, im Laufe von 24 Stunden nicht unerhebliche Variationen in der Größe der Verbrennung, und es ist daher völlig unberechtigt, aus kurzdauernden Beobachtungen den Tagesumsatz zu berechnen.

Die vorliegende Methode eignet sich daher nicht zu solchen Untersuchungen, wo man den Tagesumsatz feststellen will, und bei solchen sind die schon beschriebenen Methoden, wo die Versuchsperson in eine besondere Respirationskammer eingeschlossen wird, unbedingt notwendig.

Andererseits ist sie, wie keine andere, zur Feststellung schnell verlaufender Variationen im Stoffwechsel geeignet, und die meisten bis jetzt vorliegenden Untersuchungen über die quantitativen Beziehungen zwischen der körperlichen Arbeit und dem Stoffwechsel sind gerade mittels dieser Methode ausgeführt worden.

Sowohl beim Menschen wie bei den Tieren kann diese Methode durchgeführt werden. Es ist, wie die Erfahrung vielfach gezeigt hat, mit vielerlei Schwierigkeit verbunden, an ein Tier eine Gesichtsmaske oder eine ähnliche Vorrichtung luftdicht anzubringen, und die unter Anwendung von solchen gewonnenen Resultate scheinen immer nur mit großer Vorsicht zu verwerten zu sein. Indessen bietet es keine Schwierigkeiten, dem Tiere eine

Luftröhrenfistel anzulegen und dann in gewöhnlicher Weise die Untersuchung der Respirationsgase durchzuführen.

Eine Gesichtsmaske, wie sie früher angewendet wurde, kommt nunmehr nur ausnahmsweise in Betracht, da sie durch ein Mundstück oder durch eine in die Nasenöffnung eingeführte Röhre mit großem Vorteil ersetzt werden kann. Bei Versuchen an kleinen Kindern dürfte sie indessen kaum zu vermeiden sein, und v. Recklinghausen (91, S. 455) hat sie dabei in folgender Weise benutzt. Aus einer außerordentlich feinen und anschmiegungsfähigen, beim Benetzen transparenten Gummiplatte wird um die möglichst flach geschnittene eigentliche Maske ein halbfingerbreiter freier Saum hergestellt. Dieser wird vor dem Aufsetzen der Maske mit Glyzerin bestrichen und dadurch auf der Haut angeklebt, alle Vertiefungen derselben ausfüllend. — Die Maske bedeckt Mund, Nase, Augen und einen Teil der Backen.



Fig. 29.
Mundstück von Denayrouse.

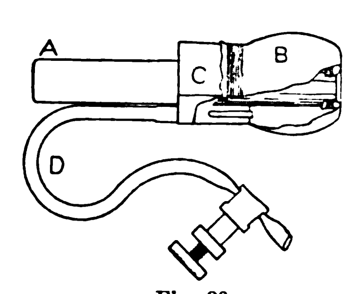


Fig. 30.
Apparat von Benedict.

Das bei diesen Versuchen in der Regel benutzte Mundstück ist ursprünglich von Denayrouse (vgl. 18, S. 286) für Taucher konstruiert. Es besteht (Fig. 29) aus einer ovalen Kautschukplatte mit einem Loch in der Mitte. In diesem Loch ist eine metallene Röhre festgesetzt. Die Kautschukplatte wird zwischen den Zahnreihen und den Wangen (Lippen) placiert, und die Nase durch eine kleine Pinzette geschlossen.

Geppert (19, S. 369) benutzt eine Hartgummiplatte, welche der Krümmung des Oberkiefers konform gebildet ist; in diese ist eine runde, 2 cm breite Öffnung geschnitten, in welche ein T-Stück mit 2 cm breiten Hartgummiröhren paßt. Die beiden freien Enden des T-Stückes sind durch Gummischläuche mit den Ventilen verbunden. Wird nun die Hartgummiplatte zwischen Lippen bezw. Backen und die Kiefer geschoben, so bilden die anliegenden Weichteile einen luftdichten Abschluß und In- und Exspiration gehen nach Verschluß der Nase durch die Ventile. Der Verschluß der Nase findet durch Baumwollbäusche statt, die in Vaselin getränkt sind und mit der Pinzette in die Nase fest eingeführt werden.

Zuntz (20, S. 27) hat später statt des Hartgummis weichen vulkanisierten Kautschuk, welcher im Munde angenehmer ist, benutzt.

Einige Autoren ziehen es vor, das Versuchsindividuum durch die Nase, bei geschlossenem Munde, atmen zu lassen.

Hierher gehört die Vorrichtung von Benedict (27, S. 364), die von dem Autor sehr warm empfohlen wird (Fig. 30).

Eine Glasröhre A von 7 mm lichtem Durchmesser dient zur Strömung der Luft von und zu der Nase. Auf diese Röhre einerseits und auf einen Kautschukstopfen andererseits ist in der aus der Figur ersichtlichen Weise ein dünner Fingerhut aus Gummi gebunden. Nach der Einführung der Röhre in die Nasenöffnung wird der Fingerhut durch die Röhre D aufgeblasen, schmiegt sich dicht an alle Anfraktuositäten der Nasenhöhle und gewährt einen vollständigen Abschluß. Eine gleiche Röhre wird auch in die andere Nasenöffnung festgesetzt und beide dann mit einer gemeinsamen Röhre verbunden.

Vgl. auch die Versuchsanordnung von Tissot (S. 131).

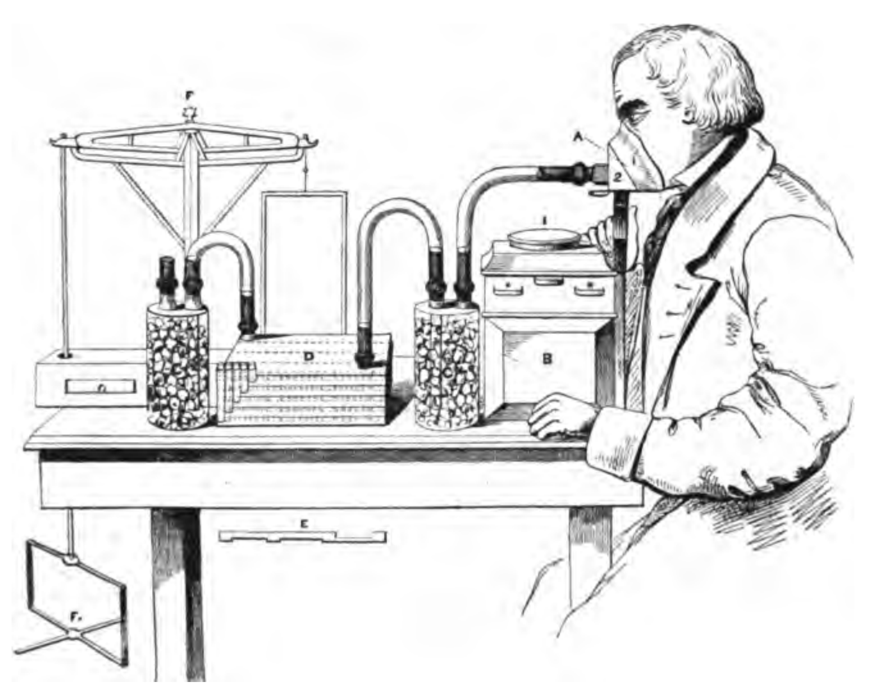


Fig. 31.
Apparat von Smith.

A. Die bei Versuchen am Menschen benutzten Apparate.

1. 2. Die Versuchsanordnungen von Allen und Pepys (1808; 16) sowie von Andral und Gavarret (1843; 17) bieten nunmehr nur ein geschichtliches Interesse dar, weshalb sie nicht hier besprochen werden können.

3. Der Apparat von Smith (1859). Die inspirierte Luft wird durch eine trockene Gasuhr gemessen (15). Die exspirierte Luft passiert 1. ein Gefäß mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption des Wasserdampfes; 2. einen Kasten aus Guttapercha, in welchem die Kohlensäure absorbiert wird; 3. ein zweites Gefäß mit Bimsstein und Schwefelsäure zur Absorption des von (2) abgegebenen Wasserdampfes; 4. ein Gefäß mit Barytwasser zur Kontrolle der vollständigen Absorption der Kohlensäure. Durch leicht spielende Klappen werden In- und Exspirationsluft voneinander getrennt.

Die Bestimmung der abgegebenen Kohlensäure fand durch Wägung der Gefäße (2) und (3) statt; zu diesem Zwecke diente eine Örtlingsche Wage, die bei einer Belastung von 7 Pfund noch für $^1/_{100}$ Grain empfindlich war. Indessen wurden die Wägungen nur mit einer Genauigkeit von $^1/_{10}$ Grain ausgeführt (Fig. 31).

Das Charakteristische bei dieser Methode besteht darin, daß weder die inspirierte noch die exspirierte Luft durch irgend eine Flüssigkeitsschicht zu passieren hatten, denn erstere wurde durch eine trockene Gasuhr gemessen, und die exspirierte Luft hatte nicht durch eine Flüssigkeit, sondern über eine Flüssigkeit zu passieren.

Das Gefäß für die Kohlensäureabsorption besteht aus Guttapercha von $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ Zoll Dicke; die Bodenfläche ist 12 × 12 Zoll und die Höhe 5 Zoll.

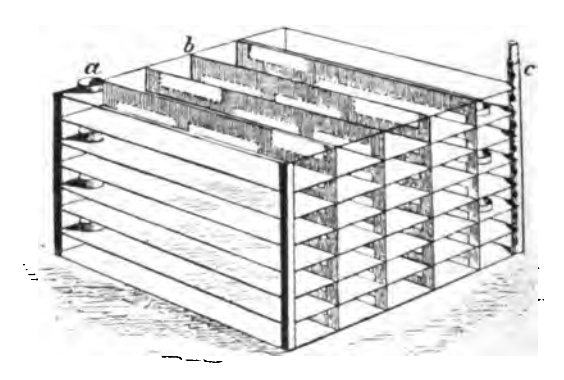


Fig. 32.
Apparat zur Absorption von Kohlensäure von Smith.

Es ist in mehrere Etagen geteilt, jede von $^5/_8$ Zoll Höhe, und zwar stehen diese durch je ein Loch a von etwas größerem Querschnitt als dem der Trachea untereinander in Verbindung. Um diese Löcher herum findet sich auf der oberen Fläche jeder Zwischenwand ein $^1/_4$ Zoll hoher Guttapercharing, um das Hinunterfließen der Flüssigkeit in die untere Etage zu verhindern. Durch Guttaperchastreifen b ist jede Etage in fünf Kammern geteilt; diese Streifen sind am Boden und Dach jeder Etage befestigt, haben aber an ihrem unteren Rande Ausschnitte, durch welche sich die Flüssigkeit auf dem ganzen Boden der Etage verbreiten kann. Auch der obere Rand dieser Streifen hat, alternierend, entsprechende Ausschnitte so angeordnet, daß die exspirierte Luft von der einen Kammer zur anderen strömen kann und dabei gezwungen ist, diese in ihrer ganzen Länge zu durchlaufen. Infolgedessen muß die exspirierte Luft über eine Oberfläche von insgesamt etwa 700 Qu.-Zoll streichen (vgl. Fig. 32).

Der Widerstand in diesem Apparate war so gering, daß ein Druck von $^2/_{10}$ Zoll Wasser genügte, um die Gasuhr zu bewegen; der Widerstand gegen die Exspiration betrug nur etwa $^1/_{10}$ Zoll Wasser.

4. Der Apparat von C. Speck (1871; 12, S. 9). Bei diesem (Fig. 33) wurde nicht allein die Kohlensäureabgabe, sondern auch der Sauerstoffverbrauch bestimmt. Die Atmung geschah bei zugeklemmter Nase durch ein

in den Mund genommenes Rohr B, nachdem die Lungen vorher durch tiefstes Ausatmen möglichst entleert worden waren. Aus dem gefüllten Spirometer E wurde Luft eingeatmet und in das leere Spirometer A ausgeatmet. Die Inspirationsluft wurde durch sehr leicht spielende Darmventile (C, D) von der Exspirationsluft getrennt.

Die Spirometerglocken waren, wie selbstverständlich, äquilibriert. Wenn die Glocke E allmählich ins Wasser herabsank und also immer leichter wurde, wurde das Gegengewicht dadurch vermindert, daß die in den

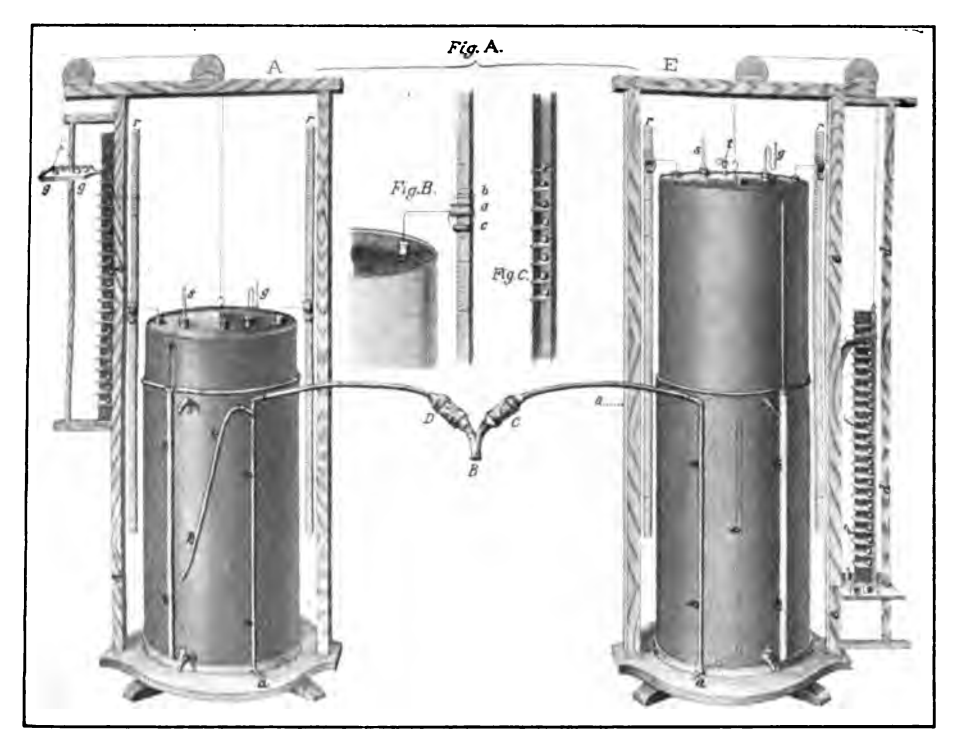


Fig. 33.
Apparat von Speck.

Fächern f enthaltenen Bleikugeln, wie aus der Fig. 33 bei x ersichtlich, die eine nach der anderen automatisch fortgenommen wurden. In ganz entsprechender Weise wurde das Gegengewicht bei der allmählich aus dem Wasser sich erhebenden Glocke A, die dabei immer schwerer wurde, durch Hinzufügen von Bleikugeln vergrößert. Vgl. Fig. 33 Fig. C.

Der Stand der Spirometerglocken wurde an je 4 im Quadrat gegenüberstehenden Stellen, von welchen in der Figur nur zwei gezeichnet sind, mittels der in Fig. 33 Fig. B abgebildeten Vorrichtung abgelesen. Diese komplizierte Art von Ablesung war notwendig, um die kleinen Neigungen, die die Glocken immer nach der einen oder anderen Seite machen, zu korrigieren. Bei jeder Ablesung muß das Wassermanometer g auf dem Dache der Glocke genau ins Gleichgewicht gestellt werden.

Zur Analyse der ausgeatmeten Luft wurde mittels eines von dem Ausatmungsrohr abgezweigten Gummischlauches (W, W) aus der Spirometerglocke A eine größere Luftprobe genommen, und zwar in ein großes mit Wasser gefülltes Rohr, das durch allmähliches Abfließen des Wassers mit der zu analysierenden Luft gefüllt wurde. Die Kohlensäure wurde mit Barytlösung, der Sauerstoff mit Pyrogallussäurelösung absorbiert.

Wegen der verhältnismäßig geringen Größe der Spirometerglocken konnten die Versuche nur kurze Zeit, höchstens etwa 16 Minuten lang dauern.

Eine Fehlerquelle, die bei dieser Methode besonders zu berücksichtigen ist, liegt in der Residualluft. Es kam bei den Versuchen Specks ab und zu vor, daß die Menge des ausgeatmeten Stickstoffes in einem Versuch mit

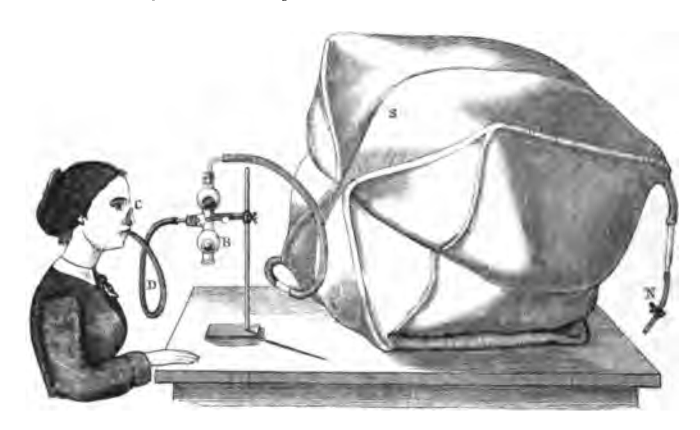


Fig. 34.
Apparat von Regnard.

300 ccm von der des eingeatmeten differierte, und doch erleidet ja der Stickstoffgehalt der inspirierten Luft, wie vor kurzem Krogh (77) und Oppenheimer (76) wieder nachgewiesen haben, bei der Atmung keinerlei Veränderung. Die Ursache dieser Erscheinung muß daher in der variierenden Größe der Residualluft gesucht werden. Tatsächlich war die in den Lungen zurückbleibende Luftmenge keine konstante, obgleich der Thorax sowohl vor als nach dem Versuche möglichst stark ausgepreßt wurde.

Der betreffende Fehler ist indessen nur ziemlich gering. Wenn der eingeatmete Stickstoff 300 ccm mehr beträgt als der ausgeatmete, so bedeutet dies, daß bei der letzten Ausatmung 300 ccm in der Residualluft geblieben sind, die eigentlich noch hätten ausgeatmet werden müssen. Damit werden gleichzeitig höchstens 80 ccm Sauerstoff zurückgehalten: der Sauerstoffverbrauch ist daher um 80 ccm zu groß ausgefallen. Bei Versuchen von 10 Minuten Dauer, und wo 60 bis 80 l Luft die Lungen passieren, bedeuten aber, wie Speck bemerkt, 80 ccm Sauerstoff, als extremen Fehler betrachtet, nicht viel, denn hierdurch würde die minutliche Menge verbrauchten Sauerstoffes ja nur um 8 ccm erhöht werden, was höchstens etwa 4 Proz. des gesamten Sauerstoffverbrauches beträgt. Übrigens hat Speck bei denjenigen Versuchen, wo einigermaßen hohe Differenzen des Stickstoffs auftraten, eine Korrektur angebracht, entsprechend 25 ccm Sauerstoff auf 100 ccm Stickstoff.

5. Der Apparat von Regnard (1879). Die Versuchsperson (18, S. 286) atmet durch das Mundstück von Denayrouse (vgl. oben S. 116); die In-

spirationsluft wird mittels Ventile eigenartiger Konstruktion (s. Fig. 34, B) von der Expirationsluft getrennt. Letztere wird in einem Kautschuksack von etwa 200 l Inhalt gesammelt. Bis dieser gefüllt ist, kann der Versuch etwa 30 Minuten lang fortgesetzt werden. Nach Ende des Versuches wird aus dem Sack eine Luftprobe von etwa 150 ccm genommen und darin nach Bindung der Kohlensäure durch Alkali der Sauerstoff und Stickstoff eudiometrisch bestimmt. Dann wird der Sack unter Vermittlung einer Reihe von Kaliröhren mit einer Gasuhr verbunden und die Luft daraus mittels einer kleinen Saugpumpe sehr langsam — im Laufe von 15 bis 18 Stunden — entleert. Die gesamte Kohlensäure wird in den Kaliröhren absorbiert, dann mit Salzsäure herausgetrieben und volumetrisch bestimmt. Die durch die Gasuhr strömende Luft ist also kohlensäurefrei. Ihr Gehalt an Sauerstoff und Stickstoff wurde schon früher (vgl. oben) bestimmt. Nun ist die Stickstoffmenge in der Exspirationsluft die gleiche wie in der eingeatmeten Luft; daraus läßt sich die Menge des in der letzteren enthaltenen Sauerstoffes berechnen und der Sauerstoffverbrauch ist also gleich der Differenz zwischen dieser Menge und der durch direkte Analyse bestimmten Sauerstoffmenge in der exspirierten Luft.

Wie ersichtlich, ist hier alles von der Dichtigkeit des Kautschuksackes abhängig. Die von Regnard mitgeteilten Versuche zeigen in der Regel sehr niedrige Zahlen für den respiratorischen Quotienten, was möglicherweise gerade auf eine Gasdiffusion durch die Wand des Sackes zurückzuführen ist.

6. Der Apparat von Zuntz und Geppert (1887). Bei den in diesem Kapitel bisher erwähnten Methoden wurde die gesamte exspirierte Kohlensäure durch Lauge absorbiert bzw. die gesamte Menge der exspirierten Luft gesammelt. Bei der Methode von Zuntz wird von der genau gemessenen Exspirationsluft ein aliquoter Teil gesammelt und zur Analyse benutzt, was in vielen Beziehungen die hierhergehörigen Bestimmungen erleichtert und verschärft.

Die Atmung findet mittels eines Mundstückes statt und die Nase wird mittels einer Klemme geschlossen. Die inspirierte und die exspirierte Luft werden durch Ventile voneinander getrennt. Nur die exspirierte Luft wird gemessen und analysiert; die inspirierte Luft braucht nicht analysiert zu werden, wenn sie direkt vom Freien geholt wird, da sie dann eine konstante Zusammensetzung hat.

Vom Exspirationsventil leitet ein Schlauch zur Gasuhr und vor dieser findet sich die Vorrichtung zur proportionalen Probenahme.

Bei den Versuchen von Geppert (19, S. 369) war letztere Vorrichtung folgendermaßen konstruiert.

Das freie hintere Ende der Gasuhr ist vierkantig ausgezogen und trägt ein leichtes Rad mit breitem Rande. Um das Rad ist eine Schnur gelegt, so daß bei jeder Drehung sich ein bestimmter Teil derselben abwickelt. Hinter der Gasuhr und unterhalb des Niveaus ihrer Achse ist senkrecht eine Glasröhre eingespannt. Diese läuft oben und unten in je zwei andere Röhren aus. Die oberen sind 2 mm licht, die unteren etwas weiter. An beide untere Fortsätze werden lange Schläuche befestigt, der eine trägt am freien Ende eine Füllkugel, der andere eine dünne kleine Glasröhre mit Hahn. An diese Glasröhre wird der freie Teil der vom Rade kommenden Schnur befestigt.

Durch die Füllkugel wird zunächst der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt und dann der zur Füllkugel gehende Schlauch durch eine Klemme abgesperrt. Ist der zur

kleinen Glasröhre gehörige Hahn offen, so stellt sich jetzt das Quecksilber in der großen Glasröhre auf gleiches Niveau ein mit der oberen Öffnung der kleinen Glasröhre; sinkt bei Drehung des Rades mit der Abwicklung der Schnur die kleine Glasröhre, so fließt das Quecksilber aus der großen Glasröhre durch den Schlauch und die kleine Glasröhre und tropft aus ihrer oberen freien Öffnung heraus. Da die Abwicklung der Schnur proportional der Raddrehung erfolgt und diese wieder gleich der Achsendrehung der Gasuhr und also proportional der durchgehenden Luftmenge ist, so fließt demnach das Quecksilber aus der großen Glasröhre in einer der Bewegung der Gasuhr proportionalen Menge aus.

Die kapillaren Fortsätze am oberen Ende der großen Glasröhre dienen zu folgendem Zweck. Der eine führt vermittels eines passenden kapillaren Verbindungsstückes in das Exspirationsventil, der andere in eine Quecksilberwanne. Beide sind mit Hähnen versehen. Ist nun der zum Exspirationsventil gehende Hahn geöffnet, der andere geschlossen, so wird, wenn das Quecksilber bei der Raddrehung aus der großen Glasröhre ausfließt, aus dem Exspirationsventil Luft angesaugt.

Der vom Rad niederhängende, mit Quecksilber gefüllte Schlauch würde einen Zug an der Achse der Gasuhr ausüben; um aber die Hauptlast des Schlauches zu übernehmen, ist in gleicher Höhe mit der Mitte der großen Glasröhre eine Klammer angebracht, die den Schlauch fest umspannt. Der jetzt noch übrig bleibende, überhaupt nicht mehr sehr schwerwiegende Teil des Schlauches wird durch ein leichtes Bleigewicht, welches an einem Faden vom Rade niederhängt, kontrebalanciert.

Je nach der Größe des Rades an der Gasuhr bezw. dem Durchmesser der großen Glasröhre kann die Größe der Luftprobe in der Zeiteinheit beliebig groß oder klein gemacht werden. Für den Menschen benutzte Geppert ein Rad von 5 cm Durchmesser und eine Glasröhre von 1 cm Durchmesser und 40 cm Länge. Diese füllte sich in etwa 15 bis 20 Minuten.

Zu gleichem Zwecke benutzten Zuntz und C. Lehmann später folgende von letzterem angegebene Anordnung (20, S. 27).

Auf der Achse der Gasuhr, welche sonst den Zeiger trägt und welche in den betreffenden Versuchen nach Durchtritt von 10 l Gas sich einmal umdreht, wurde ein leichter durch fünf Felgen gestützter Ring von Messing, an dessen Peripherie 10 Platinstifte hervorragten, angebracht. An der tiefsten Stelle der Kreisbahn befand sich ein Quecksilbernäpfchen. Durch jedes Eintauchen eines der Platinstifte in das Quecksilber wurde auf kurze Zeit ein elektrischer Strom geschlossen, in dessen Kreis außerdem ein starker Elektromagnet eingeschaltet war. Dieser Elektromagnet regelte die Probenahme in der Weise, daß jedesmal wenn er aktiv wurde, die gleiche Menge Quecksilber aus der Röhre, welche zum Aufsammeln der Gasprobe diente, ausfloß, wofür eine entsprechende Menge Exspirationsluft angesaugt wurde.

Die Einrichtung, welche dies ermöglichte, war folgende. Zum Aufsammeln der Gasprobe diente eine etwa 70 cm lange, 15 mm weite Glasröhre, welche oben einen Dreiweghahn trug, der sie einerseits mit der Leitung zu Entnahme der Luftprobe, andererseits mit einem Kapillarrohr kommunizieren ließ, durch welches das Gas in ein Eudiometer übergetrieben werden konnte. Das untere Ende der Sammelröhre setzte sich in einem langen Gummischlauch fort, dessen anderes Ende eine geräumige Füllkugel zur Aufnahme des Quecksilbers trug. Diese Füllkugel hing an einer Schnur, welche auf eine Rolle aufgewickelt worden war. In dem Maße, wie sich die Schnur abwickelte und damit die Füllkugel sank, mußte das Quecksilber aus der Sammelröhre in die Füllkugel überfließen.

Die Rolle war nun auf die horizontal stehende Achse eines kräftigen Rades so aufgesteckt, daß sie sich nur mit dieser drehen konnte.

Die Peripherie des Rades war in zwei einige mm voneinander entfernten Kreislinien mit je einer Reihe von Stiften besetzt: die Stifte der einen Reihe standen in der Mitte des von je 2 Stiften der anderen Reihe begrenzten Kreissektors. Von oben griff in die Stiftreihe, die Bewegung des Rades hemmend, ein Anker ein, welcher am Ende eines um eine horizontale Achse beweglichen zweiarmigen Hebels angebracht war. Das andere Ende des Hebels trug den Anker des oben erwähnten Elektromagneten. War letzterer untätig, so befand sich der Anker, durch eine schwache Feder in dieser Stellung fest-

gehalten, im Kreis der innern Zähne des Rades. Wurde der Elektromagnet aktiv, so wurde der Anker bis in den Kreis der äußeren Zähne emporgehoben, das Rad drehte sich, von dem an der Schnur hängenden schweren Quecksilbergefäß gezogen, so weit, bis der nächste Zahn der äußeren Reihe gegen den Anker schlug. Beim Nachlaß des Magnetismus sank der Anker wieder in den inneren Zahnkreis und fixierte, nachdem das Rad die entsprechende Drehung ausgeführt, den nächsten Zahn der Reihe.

So bewirkte jede Magnetisierung des Elektromagneten, welche jedesmal erfolgte, wenn ein Liter Exspirationsluft die Gasuhr passiert hatte, daß eine gleiche Menge Luft

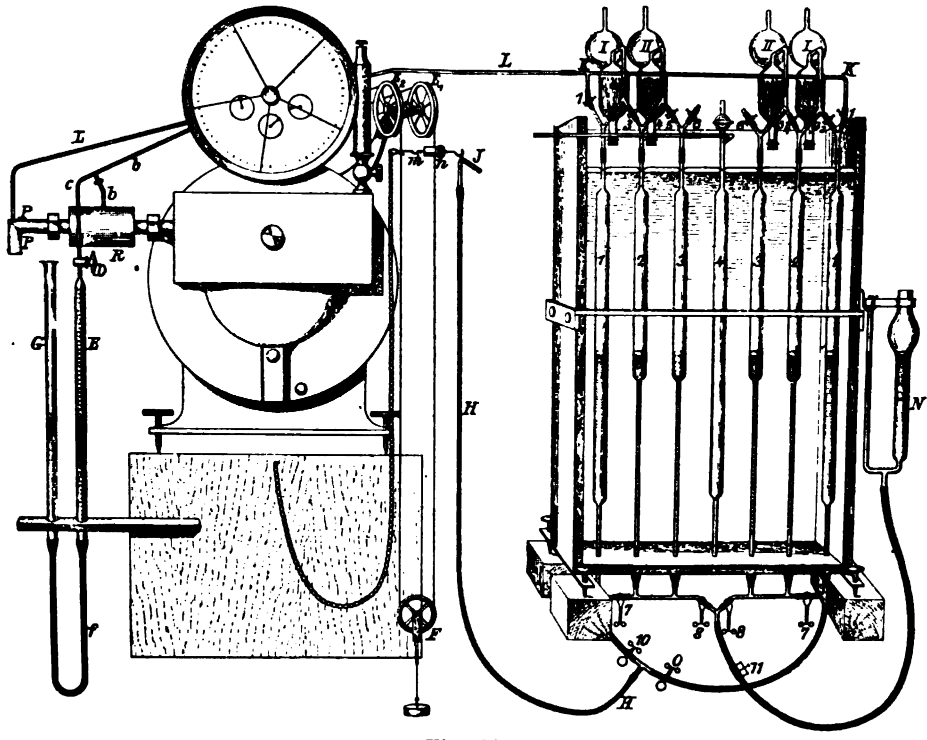


Fig. 35.
Apparat von Zuntz.

in das Sammelrohr eintrat. Um das Abfließen des Quecksilbers aus dem Sammelrohre gleichmäßig und von der bauchigen Form der Füllkugel unabhängig zu gestalten, mündete die Ausflußröhre nicht am Boden der letzteren, sondern durchsetzte denselben und endete erst über dem höchsten Stande, welchen das Quecksilber einnehmen konnte.

Die Dauer einer Probenahme konnte durch Anwendung von Rollen von verschiedenem Durchmesser sowie durch Ausschaltung einiger Platinstifte am messingenen Ringe variiert werden.

In ihrer definitiven Form sind die Zuntzschen Anordnungen zur Probenahme usw. von Magnus-Levy (21) beschrieben worden.

Die drehbare Achse der Gasuhr (Fig. 35) ist nach hinten über die Gasuhrwand heraus verlängert und trägt 4 bis 5 konzentrische Scheiben (B, B) von verschiedenem Durchmesser (Fig. 37). In dem gekehlten und gerieften Umfang von einer derselben läuft eine Schnur ohne Ende über die an der Gasuhr befestigten Rollen D, E_1, F, E_2 und D_1 nach vorne. Durch Reibung

an dem Umfange der Scheibe B wird die Schnur bei Umdrehung der Gasuhrachse in eine Bewegung gesetzt, deren Größe nur von der Schnelligkeit der Achsendrehung der Gasuhr abhängt, d. h. mit der jeweiligen Größe des durch letztere passierenden Luftquantums in konstantem Verhältnis variiert. Der vordere Teil dieser Schnur zwischen den Rollen E_1, F und E_2 (siehe Fig. 35) befindet sich vor der Gasuhr und dicht neben der die Analysenbüretten enthaltenden Wasserwanne; und zwar befinden sich die oberen Rollen E_1 E_2 höher, die untere F tiefer als das obere bezw. untere Ende der Büretten 1, 1. Der zwischen den Rollen E_1 und F befindliche Teil der Schnur sinkt bei der Drehung und an ihm ist durch den metallenen Träger m und eine Klemmvorrichtung n die Auslaufspitze J angebracht.

Die Büretten 1, 1 sind vollständig mit Wasser gefüllt, desgleichen der Schlauch H einschließlich der Auslaufspitze. Da der Querschnitt der Büretten, mit Ausnahme eines ganz kurzen Stückes am oberen und unteren Ende, überall gleichmäßig ist, so erfolgt beim Absinken der Auslaufspitze der Abfluß des Wassers aus den Büretten und deren Füllung mit der Atemluft aus der Röhre LLKK genau proportional der Menge des durch die Gasuhr streichenden Luftstromes, denn von jedem einzelnen Atemzug wird ein stets gleicher Bruchteil abgesaugt und so eine genaue Durchschnittsprobe gewonnen.

Sobald die Büretten bis zu ihrem unteren Ende mit dem Gas gefüllt sind, werden die entsprechenden Klemmen 1, 1, 10, 10 angelegt, die abgesaugte Luft abgesperrt, die nötigen Ablesungen gemacht; der Versuch ist beendigt. Je nachdem dieser eine kürzere oder längere Zeit dauern soll, läßt man die Schnur ohne Ende über eine größere oder kleinere der an der Gasuhrachse angebrachten Scheiben gehen, wodurch die Schnelligkeit ihres Niedersinkens variiert wird. Man hat es so in der Hand, eine Probenahme über 6 bis 35 Minuten auszudehnen; natürlich muß während eines Versuches das Übersetzungsverhältnis konstant bleiben.

Auf den Träger n, welcher die Ausflußspitze J trägt, können zylindrische, mit einem Ausschnitt für die Schnur versehene Gewichte aufgelegt werden. Indem diese Gewichte die Bewegung des zwischen den Rollen E^1 und F niedersinkenden Schnurteiles fördern, erleichtern sie die Umdrehung der Gasuhr und vermindern somit den Widerstand, welchen der Apparat der Exspiration entgegensetzt, und man kann die Belastung so abstufen, daß die ruhende Uhr durch Zulegen eines geringen Gewichtes in Drehung versetzt wird; dann ist der Widerstand für die Exspiration fast gleich Null.

Betreffend die Analysen usw. sei hier nur noch folgendes erwähnt. Der Analysenapparat besteht aus den Büretten, in denen die Messung der Gasvolumina, und den Pipetten, in denen die Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffes stattfindet. Die ersteren, 7 an der Zahl, stehen in einer mit Wasser gefüllten Wanne. In 1, 1 findet die Aufsammlung und Messung des zu untersuchenden Gases statt; ist dieses in der Pipette I durch Kalilauge von Kohlensäure befreit, so wird das Volumen des restierenden Gasgemenges in den Büretten 2, 2 gemessen; von dort aus wird das Gas in die Pipetten II, II getrieben, woselbst es durch Phosphor vom Sauerstoff befreit wird und dann in den Büretten 3, 3 wieder gemessen.

Die Büretten sind an ihrem unteren verschmälerten Ende in $^1/_{20}$ ccm geteilt. Nr. 1, 1 tragen eine Teilung von 99.6 bis 101.0 ccm; Nr. 2, 2 eine von 90.0 bis 100.0 ccm; Nr. 3, 3 eine von 75.0 bis 85.0 ccm, entsprechend dem Umstand, daß für gewöhnlich von 100 ccm Exspirationsluft nach Entfernung der Kohlensäure etwa 93 bis 98 ccm und nach der Absorption von Sauerstoff etwa 78 bis 81 ccm Gas zurückbleiben.

Nachdem das Gasgemenge in der oben geschilderten Weise in der Bürette 1 aufgefangen und zwischen den Klemmen 1, 2, 7 und 10 abgesperrt ist, wird die Klemme 7 geöffnet und das Volumen des Gases unter Atmosphärendruck vermittels des Niveaurohres N gemessen; dasselbe ist zweischenklig, der engere Schenkel hat genau das Kaliber der unteren geteilten Bürettenenden; das Wasserniveau in ihm wird durch Heben oder Senken des Niveaurohres auf gleiche Höhe mit dem in der Bürette gebracht; der weitere Schenkel dient zur Aufnahme von etwa 200 ccm Wasser, welches zum Herübertreiben des Gases aus den Büretten in die Pipetten gebraucht wird; umgekehrt fließt beim Zurücksaugen des Gases aus den Pipetten in die nächste Bürette das in letzterem enthaltene Wasser in das Niveaurohr ab.

Aus der Fig. 35 ist ohne weiteres zu ersehen, wie die Büretten durch je zwei Y-förmige kapillare Glasröhren und kapillare Gummistücke mit den Pipetten verbunden sind. Auch die Bedeutung der dort wie anderwärts angebrachten Klemmen ergibt sich leicht von selbst. An dem zum Niveaurohr führenden Schlauch ist eine stellbare Schraubenklemme 11 angebracht; durch richtiges Anziehen derselben wird, wenn das Gas aus einer Pipette in die entsprechende Bürette angesaugt wird, der Abfluß des Wassers aus letzterer verlangsamt und so reguliert, daß er 3 bis 4 Minuten dauert. Es findet dann kein nachträgliches Zusammenlaufen von den Wänden der Bürette statt und die Ablesung des Gasvolumens kann sofort vorgenommen werden.

Die absorbierenden Reagentien, 30 prozentige Kalilauge, bzw. dünne, sehr zahlreiche Phosphorstangen bieten dem Gasgemenge eine sehr große Oberfläche, so daß die Absorption in weniger als 2 bezw. 8 Minuten bei mittlerer Zimmertemperatur vollendet ist.

Die ganze Analyse erfordert etwa 30 bis 40 Minuten. Während dieser Zeit kann sich aber die Temperatur des Wassers in der Wanne und also auch die des Gases nicht unerheblich ändern. Die dadurch wie auch durch etwaige Barometerschwankungen bedingten Volumenveränderungen der Gase werden durch die entsprechenden Änderungen eines in Bürette 4 abgesperrten Gasquantums gemessen. Diese Bürette, von ähnlichen Dimensionen wie 1, endet unten blind, ist nach oben verschmälert und mit einem Glashahn abgeschlossen; unterhalb dieses Hahnes trägt sie einen seitlichen Ansatz, der durch ein kapillares Gummistück mit einem horizontal befestigten engen Glasrohr in Verbindung steht. Der Inhalt der Bürette beträgt bis zu der an dem Seitenrohr angebrachten Nullmarke genau 100 ccm, das Rohr ist in $^1/_{50}$ ccm geteilt. Ein in diesem befindlichen Petroleumtropfen geht bei Volumenveränderungen der in der Bürette befindlichen, durch einen Wassertropfen feucht gehaltenen Luft vor- oder rückwärts; ein Vor- oder Zurückweichen um einen halben Teilstrich bedeutet eine Volumenänderung von $^1/_{100}$ ccm auf 100 ccm, d. h. um 0.01 %.

Um das Volumen der durch die Gasuhr gemessenen Luft auf 0°, 760mm und Trockenheit zu reduzieren, benutzt Zuntz folgendes Verfahren.

Die metallenen, die Luft zu- bezw. abführenden Ansatzstücke der Gasuhr P, P, Fig. 36) sind unmittelbar an letzterer zylindrisch erweitert RR; diese Erweiterungen umschließen in mäßigem Abstande je eine ähnlich geformte dünnwandige Metallkapsel AA so, daß keine Kommunikation zwischen der Luft in A und R stattfindet. Durch je ein 2mm weites, luftdicht in die Kapseln eingelötetes, nach außen geführtes Metallrohr bb stehen die Kapselräume untereinander und durch c mit dem kalibrierten Rohr E in Verbindung; letzteres wiederum durch den weiten Gummischlauch f mit dem Niveaurohr G; als Sperrflüssigkeit dient in beiden Rohren Wasser. Der Glashahn D stellt eine dauernde Kommunikation zwischen E und c her und wird nur gelüftet und wiederum eingesetzt, wenn es sich darum handelt, ein bestimmtes Luftquantum in den Raum AAbbcDE abzuschließen. Diese abgeschlossene Luftmenge unterliegt genau den gleichen physikalischen Bedingungen und Veränderungen wie die die Gasuhr durchströmende Exspirationsluft; letztere teilt ihr ja bei der großen Dünnwandigkeit der Kapseln sofort die eigne Temperatur mit; da ferner die Luft in der Gasuhr stets unter dem jeweiligen atmosphärischen Druck steht, so wird auch das Volumen des abgesperrten Gases vermittels des Niveaurohres G unter derselben Pression abgelesen; da dasselbe zudem über Wasser abgesperrt ist und in jeder Kapsel sich ursprünglich ein kleiner Wassertropfen befindet, so ist es genau wie die Exspirationsluft mit Wasser für die gleiche Temperatur gesättigt.

Wenn a das Volumen der eingesperrten Luft trocken bei 0° und 760mm Hg ist, b das Volumen, das sie während eines Versuches wirklich einnimmt, ist, so ist das gesuchte Volumen x, das die von der Gasuhr angezeigte Luftmenge c unter Normalbedingungen einnehmen würde, aus der Gleichung $a/b = x/c$ leicht zu finden. a wird genau gleich 100.00 ccm gemacht; b in ccm am Rohr E bis auf die zweite Dezimale genau direkt abgelesen. Dann wird $x = 100c/b$.

Die beiden Metallkapseln AA und die sehr engen Röhren bbc enthalten bis zur 0-Marke des kalibrierten Rohres genau 100.00 ccm, das Rohr ist in $^1/_{20}$ ccm geteilt. Man hat nur nötig, über dem Wasserspiegel in E einmal genau 100.00 ccm trockene Luft von 0° und 760mm Hg abzusperren, um den Apparat gebrauchsfertig zu erhalten. Dies geschieht folgendermaßen. Nachdem der Apparat im abgeschlossenen Zimmer konstante Temperatur angenommen hat, bestimmt man das Mittel der Angaben von zwei außen an den Luftkapseln angebrachten Quecksilberthermometern und berechnet nun, welches Volumen 100 ccm trockenes Gas von 0° und 760 mm Hg bei dem beobachteten Druck, der gegebenen Temperatur, mit Wasserdampf gesättigt, einnehmen würden. Das berechnete Volumen sei $100 + x$, x z. B. 8.47. Hat man sich bei erneutem Betreten des Zimmers von der Konstanz der Temperatur überzeugt, so sperrt man durch Lüften des Hahnes D und Einstellen des Wasserspiegels im Rohr E (vermittels des Niveaurohres) auf die Marke $x = 8.47$ und sofortiges Wiedereinsetzen des Hahnes D das oben bezeichnete Luftvolumen $100 + x = 108.47$ ccm ab. Das Volumen, das die hier abgesperrten 100.00 ccm Normalluft zu irgend einer Zeit einnehmen unter den jeweiligen im einzelnen zwar unbekannten Druck-, Temperatur-

und Wassergehaltsbedingungen, bildet den Reduktionsfaktor, durch dessen Division in die von der Gasuhr angezeigte Luftmenge man die letztere auf Normalbedingungen reduziert erhält.

Haben z. B. in einem Versuch von 25 Minuten Dauer 174.4 l Luft die Gasuhr passiert und war das Mittel aus 4 Ablesungen an jenem Thermobarometer in diesem Falle gleich 109.64, so entsprechen jene 174.4 l demnach 174.4 × 100.00/109.64 = 159.06 l trockener Luft von 0° und 760 mm Hg.

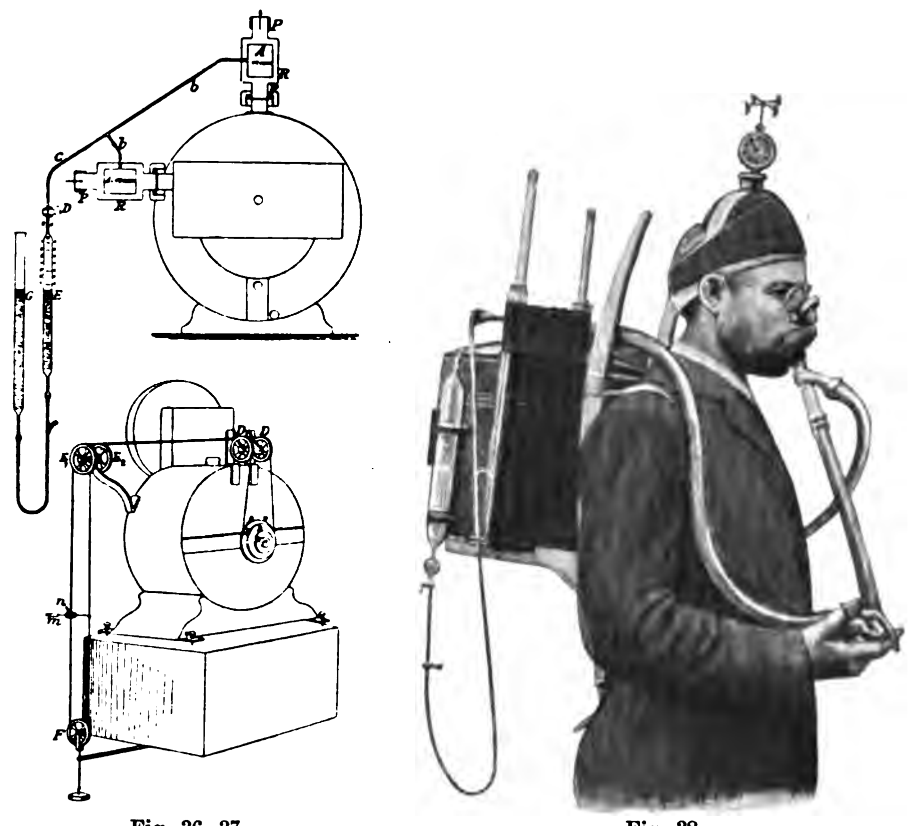


Fig. 36, 37.
Apparat von Zuntz.

Fig. 38.
Apparat von Zuntz.

Nach einigen Wochen wurden die Angaben des Thermobarometers ungenau, indem sie um 0.15—0.25 % zu klein ausfielen; was wahrscheinlich dadurch bedingt war, daß etwas vom eingeschlossenen Sauerstoff bei der Oxydation der feuchten metallenen Wandungen verbraucht wurde. Der Fehler war indessen nach 14 Tagen noch sehr klein, und man hat daher nur nötig, den Apparat alle 2 Wochen einmal zu kontrollieren und eventuell neu einzustellen.

Betreffend die sonstige Berechnung der Versuche ist folgendes zu bemerken. Bei dem Verfahren von Zuntz wird nur die Exspirationsluft gemessen und ihr Sauerstoffgehalt bestimmt. Da aber die Exspirationsluft

(wasserfrei), wenn der respiratorische Quotient kleiner als 1 ist, immer ein geringeres Volumen als die ebenfalls wasserfreie Inspirationsluft hat, läßt sich aus der Analyse der Exspirationsluft nicht ohne weiteres der Verbrauch an Sauerstoff herleiten. Unverändert bleibt aber die Menge des Stickstoffes. Wir können demnach unter Zugrundelegung der konstanten Relation von Stickstoff zu Sauerstoff in der atmosphärischen Luft die Menge des eingeatmeten Sauerstoffes aus dem Stickstoff der Exspirationsluft berechnen, indem wir die Zahl für letzteren mit 20.93/79.07 multiplizieren. Die Differenz zwischen der so berechneten und der in der Exspirationsluft gefundenen Sauerstoffzahl ergibt nach Multiplikation durch die Atemgröße den Sauerstoffverbrauch.

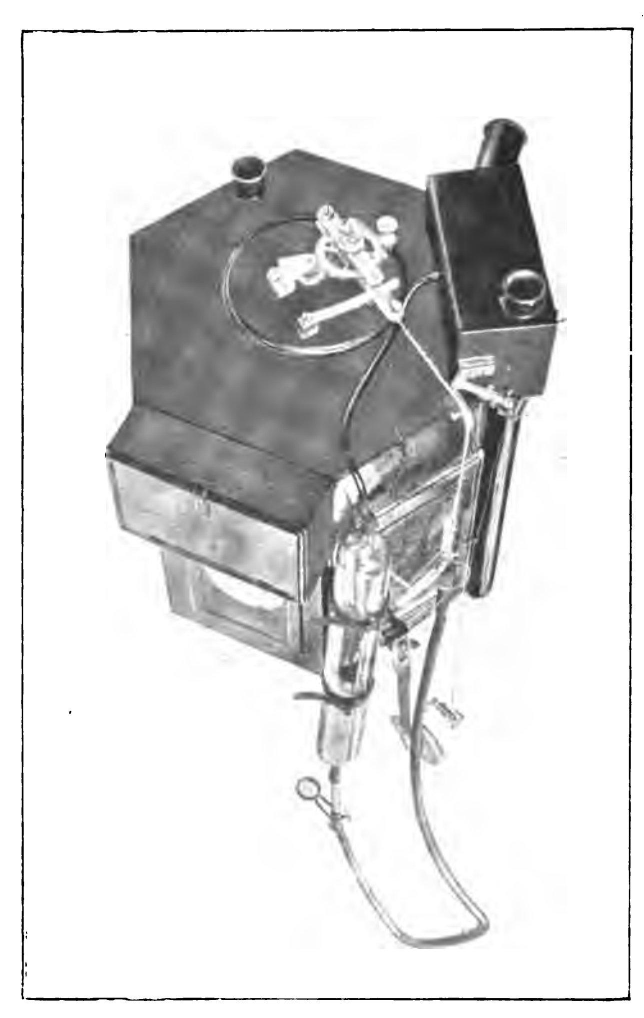


Fig. 39.
Apparat von Zuntz.

Über die Genauigkeit der nach dieser Methode ausgeführten Bestimmungen gibt Geppert an, daß die Fehler bei der Bestimmung der Kohlensäureabgabe und des Sauerstoffverbrauches, einschließlich des Fehlers der Gasuhr, etwa $2^1/_2$ bis $3^1/_2$ % betragen. Magnus-Levy bemerkt, daß bei fast allen Kontrollbestimmungen — Analyse der atmosphärischen Luft bezw. der nach Bunsen-Geppert analysierten Atemgase vom Pferde — die Kohlensäure um wenige (0 bis 6) hundertstel Volumprozente zu klein gefunden wurde; ebenso blieb der Gehalt des untersuchten Gases an Sauerstoff meistens um 5 bis 10 hundertstel Prozent hinter dem wahren Wert zurück. Unter Berücksichtigung des absoluten Gehalts der exspirierten Luft an Kohlensäure und Sauerstoff wird also die absolute Menge der abgegebenen Kohlensäure um etwa 1 bis 2 % zu klein und die des aufgenommenen Sauerstoffes um ebenso viel Prozent zu groß, was seinerseits eine Verkleinerung

des respiratorischen Quotienten um 1 bis 2 Einheiten in zweiter Dezimale bedingt. Eine noch größere Annäherung an die richtigen Werte wurde indessen in einigen Kontrollversuchen von Zuntz erzielt.

Eine weitere Prüfung des Zuntzschen Apparates wurde von Loewy (22) angeführt. Der Atmungsrhythmus und die Atemfrequenz waren während des Versuches die gleichen wie vor demselben, auch erfuhr die Atmungstiefe keine merkbare Veränderung. Indessen lag die Möglichkeit vor, daß eine gewisse Behinderung für die Atmung da eintreten mochte, wo dieser wie in Arbeitsversuchen in mehr oder weniger verstärktem Maße ablief. Um die Bedeutung dieses Umstandes aufzuklären, untersuchte Loewy die Nachwirkung, welche eine Arbeit von bestimmter Größe hinterließ, einmal wenn die Arbeit in gewöhnlicher Weise unter Atmung am Apparat stattgefunden, ein anderes mal wenn sie vollkommen frei geschehen war, denn im ersten Falle mußte es sich in der Nachperiode geltend machen, wenn das Arbeiten unter Verbindung mit dem Atmungsapparate einen besonderen Einfluß auf die Größe des Gaswechsels oder auf den Atmungsmodus ausübte. Es ergab sich, daß der pro Kgr.-m der geleisteten Arbeit berechnete Überschuß des Sauerstoffverbrauches während der Nachperiode keine Verschiedenheit bei den beiden Arbeitsarten zeigte.

Über diese Methode vgl. noch Durig (23, S. 119).

Die Zuntz-Geppertsche Methode ist von Zuntz und Schumburg für Respirationsversuche beim Gehen sowie auf hohen Bergen in folgender Weise verändert worden (9, S. 163).

Die exspirierte Luft wird durch eine trockene Gasuhr gemessen, an welcher durch zwei Thermometer die Temperatur der eintretenden Luft gemessen wird. Da die Gasuhr nur wenige (11) kg wiegt, kann sie bequem auf dem Rücken getragen werden und wird durch Riemen, die über die Schultern gelegt werden, oder auch auf einem Holzgestell (sog. Kraxe), das dann mit Riemen auf den Rücken geschnallt wird, befestigt (vgl. Fig. 38).

Auf der rechten Seite der Gasuhr ist die Glasröhre befestigt, welche die zur Analyse bestimmte Probe der Exspirationsluft aufnehmen soll. Sie steht oben durch einen Schlauch mit einem Röhrchen in Verbindung, das die Atemluft aus dem Innern der Uhr in sie übertreten läßt; unten trägt sie einen längeren Schlauch, dessen anderes Ende zu einem gekrümmten Auslaufsrohre führt.

Um eine genaue Durchschnittsprobe des während des Versuches exspirierten Gases zu erhalten ist folgende Anordnung getroffen. Die senkrecht stehende Achse der Gasuhr (Fig. 39) ragt mit ihrem oberen Ende an dem oberen Ende der Gasuhr heraus und trägt hier ein Zahnrädchen. Ihrerseits ist das Auslaufsrohr mittels einer Schnur an einem Röllchen befestigt, das oben auf der Gasuhr auf einem beweglichen Hebel sitzt. Auch dieser Hebel trägt ein kleines Zahnrad. Wenn dieses Zahnrad durch Drehung des Hebels so gestellt wird, daß die beiden Zahnräder ineinander greifen, wickelt sich die Schnur ab, das Auslaufsrohr sinkt, das Wasser fließt aus ihm ab und das Sammelrohr füllt sich allmählich mit der Probe der ausgeatmeten Luft.

Nach Ende des Versuches wird das gefüllte Sammelrohr geschlossen, von der Gasuhr entfernt und an einen Analysenapparat, z. B. die oben beschriebene Wanne gebracht, gemessen und analysiert.

Da es nicht möglich ist, die Gasuhr während des Marschierens genau abzulesen, muß dies vor Beginn sowie sogleich nach Beendigung desselben ausgeführt werden. Nun darf aber die Entnahme der Gasprobe erst erfolgen, nachdem bereits einige Minuten marschiert ist und die Atmung eine gleichmäßige Größe erreicht hat. Auch muß die Atmung in die Gasuhr mit dem Moment der Beendigung des Marsches aufhören. Dies ist dadurch ermöglicht, daß in dem Schlauch, der die Exspirationsluft vom Munde zur Gasuhr führt, ein Hahn eingeschaltet ist, der eine Öffnung besitzt, durch die die Atemluft zunächst ins Freie entweicht; erst in dem Moment, in dem die Probenahme beginnen

soll, schließt ihn der Marschierende, so daß nun die Atemluft durch die Gasuhr gehen muß. Da die Zahnräder schon vorher gegeneinander gestellt sind, beginnt die Probenahme im selben Augenblick. In dem Augenblick, in dem der Marsch beendet wird, wird der Hahn wieder geöffnet.

7. Der Apparat von Hanriot und Richet (1891). Das Prinzip dieser Methode (24), besteht darin, daß das Volumen 1. der inspirierten Luft (V) 2. der exspirierten Luft (V_1) und 3. der letzteren, nachdem sie durch Kalilauge von ihrer Kohlensäure befreit worden ist (V_2) bestimmt wird. Dann ist $V_1 - V_2$ gleich der abgegebenen Kohlensäure und $V - V_2$ gleich dem verbrauchten Sauerstoff.

Diese Messungen finden durch drei Gasuhren statt. Um den Einfluß eines verschiedenen Feuchtigkeitsgehaltes in der Luft zu vermeiden, lassen die Autoren die einzuatmende Luft durch ein Gefäß streichen, woselbst sie sich mit Wasserdampf sättigt. Während ihres Ganges durch die Lauge gibt die Luft nicht allein Kohlensäure, sondern auch Wasser ab; sie wird aber, bevor sie in die dritte Gasuhr eintritt, in einem eingeschalteten Gefäß wiederum mit Wasserdampf gesättigt.

Zur Kohlensäureabsorption lassen Hanriot und Richet einen Regen von Kalilauge in ein mit 300 Glaskugeln gefülltes Rohr fallen; die Lauge breitet sich auf die Oberfläche der Kugeln aus und bietet also der Kohlensäure eine sehr große Oberfläche dar. Dabei wird die Menge der ins Gefäß hineinströmenden Lauge in folgender Weise reguliert. Das zuführende Rohr taucht in Quecksilber, dessen Höhe durch Verschiebung des Quecksilberreservoirs verändert werden kann. Wenn der Stand des Quecksilbers nicht mehr den Druck der Lauge kontrabalanciert, fließt letztere in das Gefäß hinein; durch Heben des Quecksilberreservoirs kann der Strom unterbrochen werden. Vom Gefäß wird die Lauge mittels eines Hebers kontinuierlich entfernt.

Da die Luft, nachdem sie dies Gefäß passiert hat, noch Spuren von Kohlensäure enthält und sie außerdem mit Wasser gesättigt werden muß, bevor sie in den dritten Gasmesser hineintritt, geht sie von dem jetzt erwähnten Gefäß zu einem anderen, von ganz gleichem Bau, nur mit dem Unterschied, daß dieses von Kalkwasser durchspült wird.

Die beiden Gefäße für Lauge und Kalkwasser fassen je 25 l. In bezug auf weitere Einzelheiten wird auf die Originalabhandlung der Autoren verwiesen.

Wegen der Größe dieser Gefäße und der Weite der Schläuche dauert es eine Zeitlang, bis die exspirierte Luft zum dritten Gasmesser gelangt; daher können die Messungen erst nach einer gewissen Zeit beginnen, die um so größer ist, je kleiner die Atmungsgröße.

Ein Übelstand bei dieser Versuchsanordnung, der auch von den Autoren hervorgehoben wird, liegt darin, daß die Versuchsperson sowohl bei der Inspiration als bei der Exspiration einen Widerstand von 1 bis 4 cm Wasserdruck zu überwinden hat. Sie bemerken indessen, daß ein Druck von 2 cm Wasser nicht lästig ist, und daß man drei, ja bis sechs Stunden durch den Apparat atmen kann.

8. Der Apparat von Tissot (1896; 25). Hier wird ein Teil der exspirierten Luft sowohl zur Analyse als zur Messung der exspirierten Luftmenge abgezweigt.

In den beiden Nasenöffnungen wird bei geschlossenem Munde je eine oben ampullenförmig erweiterte Röhre hineingeführt; diese stehen ihrerseits mit einem kleinen Behälter in Verbindung, an welchem der in Fig. 40 abgebildete Apparat befestigt ist. Dieser besteht aus einer Röhre A, mit zwei Seitenröhren B und C und in der Mitte eine Röhre E von viel kleinerem Durchmesser. Durch B-A wird ein- und ausgeatmet; bei der Ausatmung geht ein Teil der exspirierten Luft auch durch E, und zwar kann durch richtige Länge von E und eine zweckmäßig gewählte Öffnung des Diaphragmas M ein konstantes Verhältnis zwischen der Menge der durch E und B ausweichenden Luft erreicht werden. Der also abgezweigte Teil der exspirierten Luft strömt durch D und L in eine leere, mit Öl durchtränkte Rinderblase, von woher sie am Ende des Versuches gemessen und analysiert wird.

Damit nur die exspirierte Luft in D eintrete und davon keine Inspiration stattfinden möge, ist die distale Öffnung der Röhre E mit einem Ventil K versehen. Dieses wird durch einen Elektromagneten bewegt und letzterer durch den in der Seitenröhre C eingeschlossenen Unterbrecher g geregelt. Bei der Inspiration wird g aus dem Quecksilber im untenstehenden Gefäßchen herausgezogen, der Elektromagnet läßt daher den Anker K_1 frei und durch die Kraft der Feder J wird K gegen das untere Ende von E gedrückt und diese Röhre also geschlossen. Sobald die Inspiration aufhört, wird der Kontakt bei g wiederhergestellt, die Röhre E also in Verbindung mit D gebracht und der aliquote Teil der exspirierten Luft nach D getrieben.

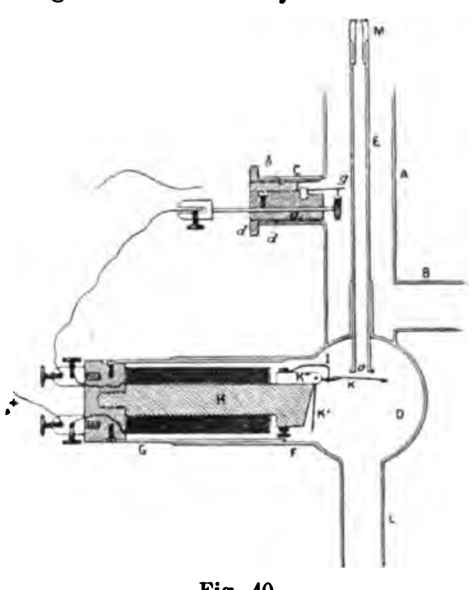


Fig. 40.
Apparat von Tissot.

9. Der Apparat von v. Wendt (1906; 26). In Fig. 41 stellt A einen Tisch dar, dessen Beine durch Scharniere so an die Platte befestigt sind, daß die Höhe der Platte über der Diele reguliert werden kann. In der Tischplatte befindet sich ein Loch von 40 cm Durchmesser. Das Loch wird von einer dünnen elastischen Gummimembran mit einer einige Quadratzentimeter großen Öffnung in der Mitte gedeckt. Auf der Tischplatte ist um die äußere Peripherie des Loches herum ein Metallfalz angebracht, in welche der untere Rand einer etwa 55 l fassenden Glasglocke G hineinpaßt. Diese Glocke hat noch 2 Öffnungen, eine oben (O), die andere unten (N). Das Loch O wird mit einem Gummipfropfen verschlossen; im Pfropfen finden sich zwei Löcher; durch das eine steht das Innere der Glocke unter Vermittlung der Röhre R_1 mit der Außenluft in Verbindung; durch das kleine Loch kann der Versuchsperson Flüssigkeit zugeführt werden (der Apparat war zur Untersuchung des Einflusses von Alkohol auf den Gaswechsel konstruiert). Das Loch N

steht durch die Röhrenleitung R_2 in Verbindung mit einer Gasuhr, und zwar muß die herausventilierte Luft zuerst eine Glasglocke passieren, wo der Feuchtigkeitsgehalt mittels eines Haarhygrometers bestimmt wird; dann folgt die Verbindung zum Apparat für die Kohlensäureanalyse nach Petterson und Sondén.

Die Ventilation der großen Glocke G wird durch die Gasuhr besorgt. Es streicht also vor der Nase und dem Munde der Versuchsperson ein ununterbrochener Strom von frischer Luft — höchstens etwa 30 l in der Minute —; der Kohlensäuregehalt der in der Leitung R_1 R_2 strömenden Luft wird in kurzen Intervallen bestimmt und daraus die Menge der abgegebenen Kohlensäure berechnet (vgl. in dieser Hinsicht S. 93).

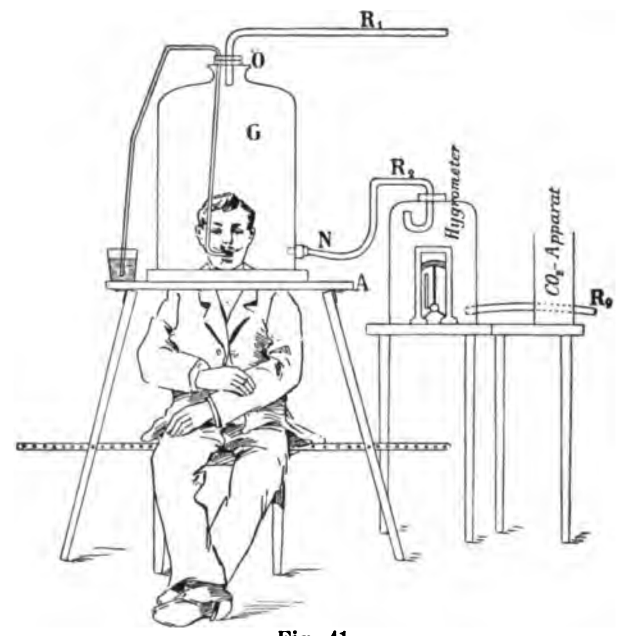


Fig. 41.
Apparat von v. Wendt.

11b. Der Apparat von Grafe (1909). Der Kopf des Versuchsindividuums wird in einen Blechkasten mit großen Fensterscheiben eingeschoben; die Abdichtung des Innenraumes geschieht mittels eines Halskragens aus Gummi (52). Den Luftwechsel besorgt eine Gasuhr; die Luftproben werden wie beim Apparat von Jaquet (vgl. S. 97) entnommen und an Sauerstoff und Kohlensäure analysiert. Beim Versuch kann die Versuchsperson liegen oder sitzen.

12. Der Apparat von Benedict (1909; 27). Die Versuchsperson atmet durch ein Mundstück oder durch Röhren, die in die Nasenöffnungen eingeführt sind (vgl. oben S. 116); die Verbindung der Respirationswege mit dem Respirationsapparat geschieht durch einen weiten Schlauch; in dieser Leitung findet sich ein Dreiwegehahn, welcher der Versuchsperson gestattet entweder im Apparate oder frei zu atmen. Die Verbindung mit dem Apparate wird hergestellt, sobald die Atmung normal erfolgt; nach beendetem Versuche

wird der Hahn wieder umgedreht und der Respirationsapparat also ausgeschaltet.

Wie aus Fig. 42 ersichtlich, stellt der ganze Apparat ein geschlossenes System dar, in welchem sich mit Ausnahme des soeben erwähnten Hahnes keine Ventile vorfinden. Durch ein elektrisch getriebenes Gebläse wird im ganzen System eine in bestimmter Richtung stattfindende Luftströmung unterhalten und zwar werden in dieser Weise etwa 35 Liter pro Minute fortbewegt. Die bei a eintretende exspirierte Luft muß daher in der Richtung

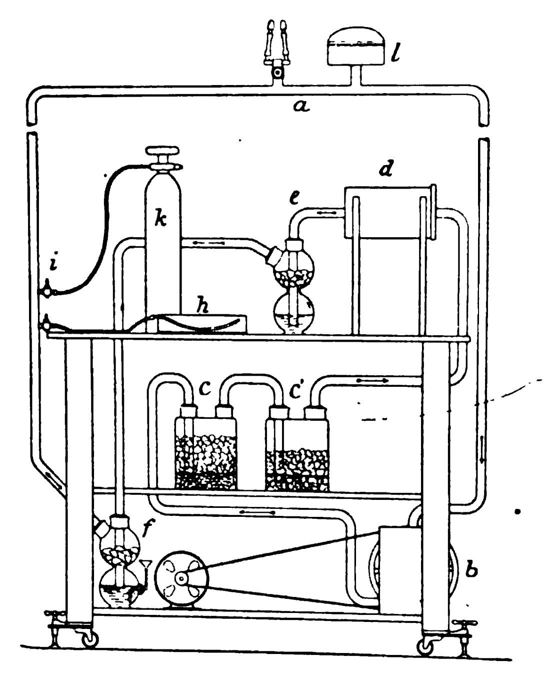


Fig. 42.
Apparat von Benedict.

der Pfeile zuerst nach dem Gebläse b strömen. Dann passiert sie zwei Woulffsche Flaschen, c, c′ mit Bimsstein und Schwefelsäure. Die hierdurch vollständig getrocknete Luft kommt nun zu einem Gefäß mit Natronkalk (d), wo die Kohlensäure absorbiert wird; jenseit dieses Gefäßes findet sich wieder eine Flasche (e) zur Absorption von dem Wasser, das möglicherweise vom Gefäß d abgegeben worden ist. Endlich passiert die Luft durch ein Gefäß f, wo sie wieder befeuchtet wird, denn eine ganz trockene Luft würde bald Unannehmlichkeiten bei der Atmung verursachen. Mittels eines kleinen Trichters wird beim Bedarf Wasser in f hineingegossen. Diese Luft wird von der Versuchsperson eingeatmet.

Um den Druck im Systeme zu bestimmen, ist bei h ein Petroleummanometer mit der Röhrenleitung verbunden.

Bei i mündet wieder ein Verbindungsschlauch mit einem Sauerstoffbehälter

(k) ins System hinein. Aus diesem Behälter wird von Zeit zu Zeit Sauerstoff nach Bedarf zugeführt.

Endlich trägt das System noch eine Vorrichtung, um den Druck im Systeme konstant zu erhalten. Diese Vorrichtung (l) besteht aus einem kupfernen Ring, der mit einer schlaffen Kautschukmembran überzogen ist; der Durchmesser des Ringes ist 16 cm und die Höhe 9 cm — der Inhalt des betreffenden Raumes also 1809 ccm.

Die Volumenveränderungen des Systems bei der Inspiration und der Exspiration erfolgen, dank dieser Vorrichtung, ohne irgend welche größere Druckschwankungen, und dieselbe gibt in der Tat die Möglichkeit ab, ohne Schwierigkeit 10 bis 20 Minuten lang bei diesem geschlossenen System, wo die Röhren einen Durchmesser von etwa 15 mm haben, zu atmen.

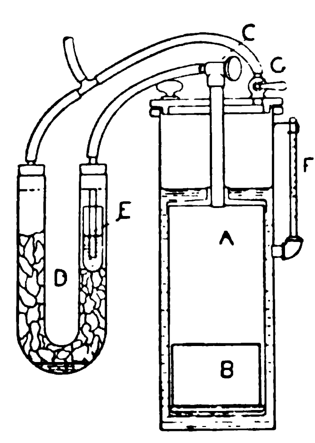


Fig. 43.
Apparat von Benedict.

Die Versorgung mit Sauerstoff findet entweder aus einer kleinen Bombe mit komprimiertem Sauerstoff (3 kg) oder auch durch direkte Darstellung von Sauerstoff aus Natriumperoxyd statt. In ersterem Falle muß das Gas analysiert werden, da die Bombe nie reinen Sauerstoff enthält.

Zur Darstellung von Sauerstoff aus Natriumperoxyd benutzt Benedict folgenden Generator (Fig. 43). Eine Metallglocke (A) taucht in Wasser. Am Boden der Glocke ist eine dünne Dose mit Natriumperoxyd mittels zwei Federn festgehalten (B); die Dose hat oben und unten Löcher durch welche Wasser darin eintreten kann. Wenn das Ventil C geöffnet wird, strömt Wasser in die Glocke hinein, kommt in Berührung mit dem Peroxyd und bildet Sauerstoff. Dieser strömt zum Trocknen durch Bimsstein und Schwefelsäure (D,E) und dann durch das T-Rohr in das Röhrensystem. Wenn die Gasentwicklung sehr schnell stattfindet, kann es geschehen, daß Gas unter den Rand der Glocke entweicht; dieses Gas kann durch Öffnen des Hahnes bei G in das T-Rohr strömen. F zeigt den Wasserstand im Generator an.

Bei dieser Methode kommen keine Gasanalysen vor: die Kohlensäure wird durch Wägen der Gefäße d und e direkt bestimmt; der Sauerstoffverbrauch geht aus der Gewichtsveränderung der Sauerstoffbombe bezw. des Generators hervor, wobei natürlich die etwaige Verunreinigung des Sauerstoffes mit Stickstoff zu berücksichtigen ist.

Kontrollversuche mit Verbrennung von Äther ergaben:

Kohlensäure	ber.	11.71 g,	gef.	11.62 g
Sauerstoff	„	12.78 g,	„	12.78 g
RQ	„	0.666,	„	0.662

In anderen Versuchen wurde die Kohlensäureabgabe und der Sauerstoffverbrauch mit diesem Apparat und sogleich nachher in der Respirationskammer von Benedict (vgl. oben) bestimmt. Der respiratorische Quotient betrug im ersten Falle 0.87, im zweiten 0.89.

Über einige andere Versuchsweisen vgl. Schnyder (28), Bürgi (29).

B. Die bei Versuchen an Tieren benutzten Methoden.

Es ist selbstverständlich, daß die sub A erwähnten Methoden auch an Tieren nach Tracheotomie oder unter Anwendung einer Respirationsmaske

benutzt werden können. Es empfiehlt sich indessen, die hierbei vorgenommenen Modifikationen sowie andere Methoden kurz darzustellen, um solcherart eine vollständigere Übersicht über die vorhandenen Versuchsweisen zu ermöglichen.

13. Der Apparat von Ludwig (1867; 30). Am Kopf des Tieres (Fig. 44) wird eine Schnauzenkappe (1) aus Kautschuk angelegt, die an die Messingscheibe (2) angepaßt ist. Durch den Hahn 3 kann der Hohlraum der Kappe bald mit dem Atmungsraume, bald mit der atmosphärischen Luft in Verbindung gesetzt werden. Von der Messingscheibe entspringen vier Rohre; die Luft von der Kappe strömt durch 4 zu der Flasche d, welche

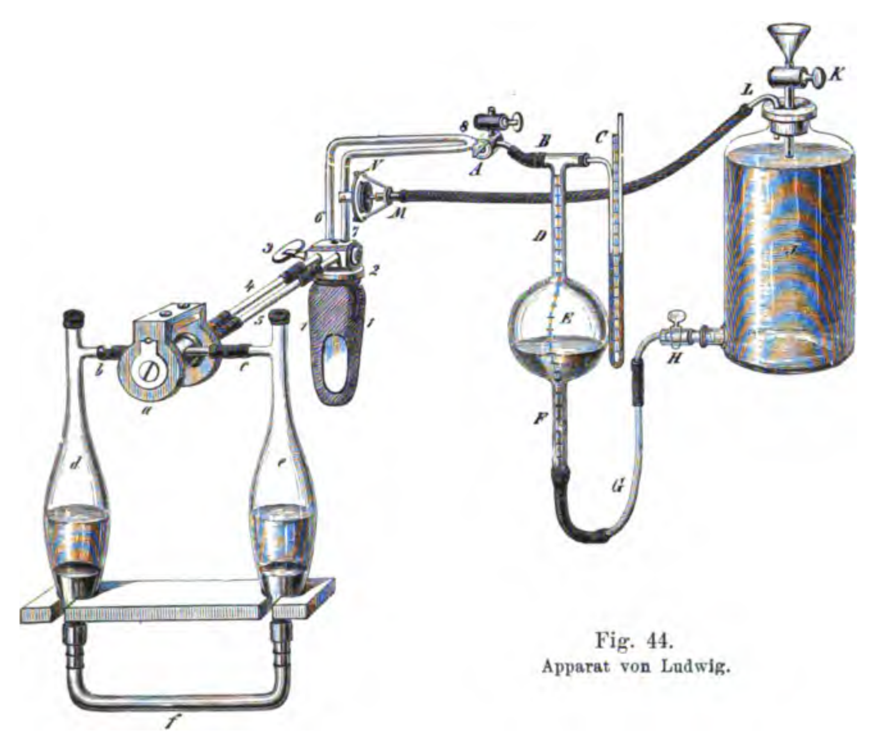


Fig. 44.
Apparat von Ludwig.

wie auch die Flasche e teilweise mit Quecksilber und Barytlösung gefüllt ist Beide Flaschen, welche unten durch die Röhre F miteinander kommunizieren, können um die Achse a herumgedreht werden und durch ihre regelmäßig unterhaltene Bewegung wird ganz wie im Apparat von Regnault und Reiset eine regelmäßige Hin- und Zurückströmung der Luft im ganzen Systeme bewirkt. Die bei der Atmung gebildete Kohlensäure wird durch die Barytlösung absorbiert; gleichzeitig strömt aus dem Behälter E Sauerstoff hinein. Die Einströmung von Sauerstoff findet unter dem Wasserdruck in der Druckflasche J statt; hierbei wird die Zuströmung durch den kleinen Apparat N reguliert. Dieser besteht aus einer Kautschukmembran, die über den Rand eines sehr niedrigen, mit der Röhre 7 in Verbindung stehenden Hohlgefäßes aus Messing gespannt ist. Diese Membran verschließt die Öffnung des Schlauches ML; wenn nun wegen der Kohlensäureabsorption, der Druck im

System herabsinkt, wird die Kautschukmembran nach innen gezogen, die Öffnung bei M wird frei und Luft strömt in die Flasche J hinein. Dadurch wird Sauerstoff aus E in das Röhrensystem hineingetrieben, bis der dort herrschende Druck die Membran N wieder gegen die Öffnung M drückt und also das weitere Übertreten von Sauerstoff verhindert.

Der Sauerstoffverbrauch (V) wird nach folgender Formel berechnet:

$$V = I\alpha - I(\alpha \pm \beta) + O\gamma,$$

wo I das Luftvolumen des Röhrensystems, O das aus dem Sauerstoffbehälter in den Apparat übergetretene Luftvolumen, α den prozentigen O-Gehalt der atmosphärischen Luft, $(\alpha \pm \beta)$ den prozentigen O-Gehalt der Luft im Systeme nach beendigtem Versuche und γ den Sauerstoffgehalt im Behälter bezeichnen.

Die in der Barytlösung absorbierte Kohlensäure wird nach Pettenkofer titriert.

14. **Der Apparat von Zuntz und Röhrig (1871) mit dessen späteren Modifikationen.** Nach Tracheotomie wird die Luftröhre (31) mit einem Schlauch verbunden, der seinerseits mit einem Exspirations- und einem Inspirationsventil versehen ist. Von diesen gehen Schläuche zu den paarigen Schenkeln einer T-Röhre, deren unpaariger Schenkel zu einem mit Sauerstoff gefüllten, in Quecksilber gehenden, äquilibrierten Glaszylinder von 5 cm Weite und 55 cm Länge führt. Als Sperrflüssigkeit in den Ventilen wird Kalilauge benutzt. Das Tier atmet also reinen Sauerstoff aus dem Zylinder und exspiriert wieder in ihn, wobei die Kohlensäure der exspirierten Luft von der Lauge im entsprechenden Ventil absorbiert wird. Diese Absorption ist indessen nicht vollständig, weshalb die Luft im Zylinder allmählich mit Kohlensäure beladen wird, die nur zum Teil durch die im Inspirationsventil befindliche Lauge absorbiert wird.

Nach Schluß des Versuches wird an die Stelle der Trachea eine große Spritze gebracht, und mittels dieser Gas aus dem Zylinder aspiriert und in ihn getrieben, bis alle Kohlensäure absorbiert worden ist, was sich durch Konstantbleiben des Queksilberniveaus zu erkennen gibt.

Durch Ablesung des Glaszylinders erhält man dann den Sauerstoffverbrauch. Die in den Schläuchen und Ventilen enthaltene Sauerstoffmenge (etwa 80 cm) konnte bei der Berechnung vernachlässigt werden, wenn nur dafür gesorgt wurde, daß sie vor und nach der Atmung unter gleichem Druck stand.

Nach Beendigung des Versuches findet sich sämtliche Kohlensäure in der Kalilauge der Ventile und kann darin in zweckmäßiger Weise bestimmt werden (bei Zuntz und Röhrig durch den Gewichtsverlust der Lauge beim Ansäuren mit Schwefelsäure).

Durch eine besondere Vorrichtung ist dafür gesorgt, daß das Tier nicht früher aus dem Glaszylinder zu atmen beginnt, als seine Lungen zum größten Teil wenigstens vom Stickstoff befreit sind. Zu diesem Zwecke ist mit dem Inspirationsventil eine besondere Leitung zu einer Flasche mit reinem Sauerstoff verbunden. Wenn der Versuch beginnen soll, wird diese abgeschlossen und die Trachea des Tieres mit dem Glaszylinder verbunden.

Diese Methode wurde in der folgenden Zeit weiter entwickelt. Insbesondere wurden sämtliche Teile des Apparates nebst Röhrenleitungen, so weit wie tunlich aus Glas hergestellt, und nur zu den notwendigen Ver-

bindungen der einzelnen Teile des Apparates wurden längere Abschnitte von Kautschukröhren benutzt (Wolfers, 32).

Fig. 45 stellt den Apparat dar. Die Trachea wird mit der Röhre a verbunden, die in die Dreizackrohre O übergeht. Wie aus der Figur ohne weiteres ersichtlich ist, kann je nach der Stellung der Quetschhähne q^1 und q^2 das eine oder das andere Spirometer (BB) zur Atmung benutzt werden, und der Versuch kann also ohne Unterbrechung eine längere Zeit fortgesetzt werden. Eine Beimengung von Exspirationsluft zur Inspirationsluft kann

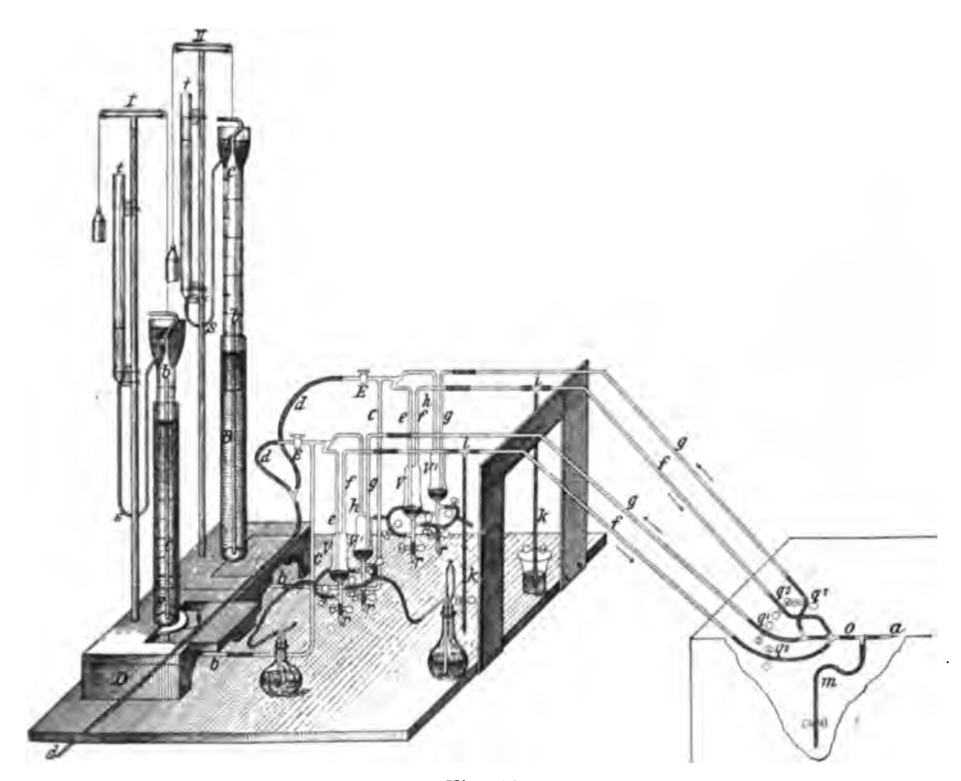


Fig. 45.
Apparat von Zuntz-Wolfers.

nur in minimaler Menge stattfinden, da das für in- und exspirierte Luft gemeinschaftliche Endstück o der Leitung kaum einen Kubikzentimeter Kapazität hat.

Die Höhe des äußeren Zylinders beträgt 58 cm, seine Weite 6.5 cm; Höhe und Weite des inneren 60 bezw. 5.5 cm. An ihrem oberen Ende laufen die inneren Zylinder in ein gebogenes Rohr aus, welches während der Dauer der Versuche luftdicht geschlossen ist, bei Installierung des Apparates, behufs genauer Kalibrierung der Zylinder, aber offen ist.

Die Füllung der Zylinder mit Sauerstoff erfolgt durch die Zuleitungsröhren d, welche danach durch den Hahn E abgesperrt wird.

Zur Selbstäquilibrierung der Zylinder dient folgende von **Pflüger** angegebene Vorrichtung. Über den Zylinder ist ein mit Quecksilber gefüllter Ansatz A angebracht. Das Quecksilber kommuniziert durch ein Glasrohr und den Gummischlauch s mit der vertikalen Röhre t, welche gleichfalls mit Quecksilber angefüllt ist, und zwar so, daß wenn sich der Zylinder infolge des Sauerstoffverbrauches tiefer senkt, gerade so viel Quecksilber aus dem Äquilibrierungsrohre nach dem Aufsatze des Zylinders abfließt, daß dieser durch den Zufluß des Quecksilbers so viel an Gewicht gewinnt, als der Auftrieb durch das tiefere Einsenken in Quecksilber vermehrt worden ist. Ebenso fließt beim Wiederfüllen der Zylinder mit Sauerstoff so viel Quecksilber durch die heberartige Wirkung des Äquilibrierungsrohrs ab, als notwendig, damit das Gewicht des Zylinders unverändert bleibe, also die Luft in ihm immer unter Atmosphärendruck sei.

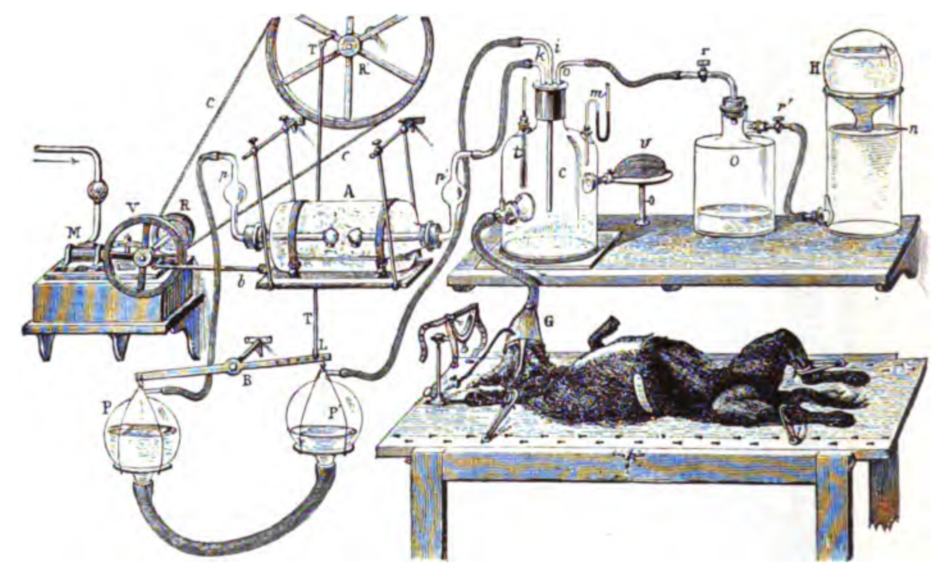


Fig. 46.
Apparat von Regnard.

Nach Ende des Versuches werden die Ventile durch die Röhren rr in eine untergestellte Flasche entleert, je zweimal mit destilliertem Wasser nachgespült und das Waschwasser mit der Lauge vereinigt. Die Alkalität der Lauge wurde dann vor und nach Fällung der Kohlensäure mittels Chlorbaryum-Lösung durch eine Normalsäure bestimmt.

15. **Der Apparat von Regnard** (1879). Eine Gesichtsmaske (18) wird unter Vermittlung eines Dreiweghahns mit der Flasche C von 10 l Inhalt verbunden (Fig. 46). Durch Drehung des Hahnes können die Atmungswege des Tieres augenblicklich mit der Luft in der Flasche in Verbindung gesetzt werden.

Damit die Atembewegungen des Tieres keine Druckveränderungen im System bewirken mögen, ist ganz wie beim Apparat von **Benedict** (s. oben S. 134) an einer zweiten Öffnung der Flasche ein kleiner Kautschuksack mit sehr dünner Wand v befestigt. Dieser kompensiert die durch die Atmungsphasen bewirkten Druckveränderungen in der Flasche und der Druck daselbst bleibt daher ziemlich unverändert.

Mit der Flasche C kommunizieren ferner drei Röhren i, k, o. Erstere i und k sind in der aus der Abbildung sichtbaren Weise mit den Pipetten P und P[1] verbunden, die ihrerseits durch einen dicken Schlauch zusammenhängen. Diese Pipetten, die zum Teil mit Kalilauge gefüllt sind, sind an dem Balken B aufgehängt, welcher durch das von dem Motor V getriebene Rad in eine schaukelnde Bewegung versetzt wird. Infolgedessen wird die Lauge ihr Niveau in den Pipetten immer verändern müssen, und also einerseits eine Ansaugung auf die in C enthaltene Luft ausüben, die dann der Lauge ihre Kohlensäure abgibt, andererseits Luft wieder in C hineintreiben.

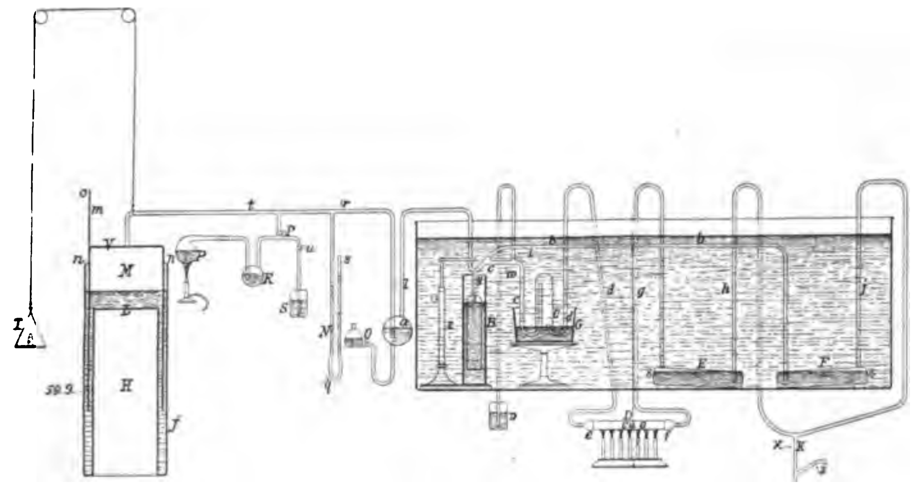


Fig. 47.
Apparat von Pflüger.

In der Leitung der Röhre k ist das Gefäß A eingeschaltet. Dieses ist zur Hälfte mit Kalilauge gefüllt und wird durch den Motor in einer stetigen Bewegung gehalten. Infolgedessen wird die darin enthaltene Lauge heftig geschüttelt, die ins Gefäß eintretende Luft von einem wahren Kaliregen empfangen und die passierende Kohlensäure dadurch sogleich absorbiert.

Durch die Absorption der Kohlensäure vermindert sich der Druck im System; dem wird dadurch entgegengewirkt, daß von der Flasche O durch die Röhre o reiner Sauerstoff in entsprechender Menge hineinströmt. Der Sauerstoff steht in der Flasche O unter konstantem Druck durch das mit einer konzentrierten Lösung von Chlorkalzium gefüllte Gefäß H.

Die Luft in der Flasche wird analysiert, die Kohlensäure in den Pipetten usw. bestimmt und die verbrauchte Sauerstoffmenge direkt abgelesen.

Bei kleinen Tieren findet die Atmung nicht durch eine Maske statt, sondern das Tier wird in eine kleine Kammer eingeschlossen.

16. Der Apparat von Pflüger (1881). Mit der Röhre K (Fig. 47) wird die Trachea verbunden (70). Wenn jene bei x geschlossen wird und z offen steht, atmet das Tier direkt aus der umgebenden Luft. Umgekehrt, wenn z geschlossen und x offen ist, findet die Atmung aus dem

Apparate statt. Die exspirierte Luft geht durch h nach dem mit Kalilauge gefüllten Ventil E, davon durch die Röhre g zu D, wo nach dem Vorgange von Seegen und Nowak etwa ausgeatmete brennbare Gase durch erhitztes Kupferoxyd in Kohlensäure und Wasser oxydiert werden; dann weiter durch d zu der Eudiometerglocke C und von dort durch c zu der Glocke B, welche das System mit Luft versieht, und zu der Röhre b. Diese mündet ihrerseits in das Inspirationsventil F ein, von welcher die Luft durch j wieder zur Trachea gelangt.

Zum Ersatz des verbrauchten Sauerstoffes strömt von dem Gasometer M reiner Sauerstoff durch die Leitung t r nach a und davon durch

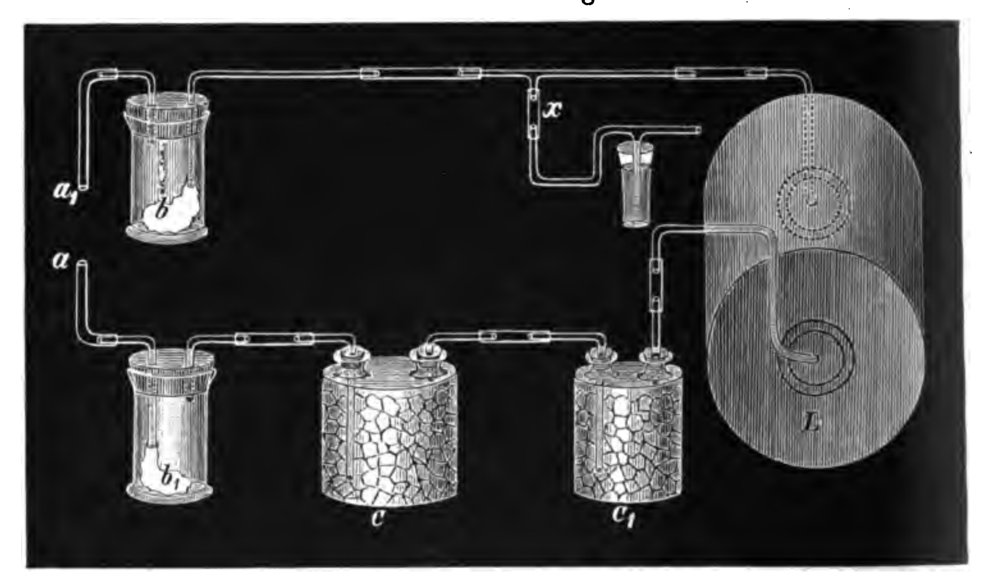


Fig. 48.
Apparat von Geppert.

l in den Atmungsapparat. Der Sauerstoff wird aus Kaliumchlorat in P dargestellt.

Der Apparat war besonders zu dem Zwecke konstruiert, um die Frage zu entscheiden, ob gasförmiger Stickstoff von den Lungen abgegeben wird. Deswegen kann der Apparat teils durch die Röhre i bei geschlossenem x von Zeit zu Zeit mit Sauerstoff durchgespült werden, teils so benutzt werden, daß das Tier aus der Röhrenleitung inspiriert, während, bei offenem i, die Exspirationsluft bei v das System verläßt. Nachdem in dieser Weise einigemal so geatmet worden ist, wird die Klemme bei i geschlossen und das Tier atmet nun in und aus dem Apparat. Die in der Eudiometerglocke C gesammelte Luft dient zur Analyse der Luft.

17. Der Apparat von Geppert (1889). Das Tier (33) atmet durch eine Trachealkanüle (Fig. 48), die mit den Röhren a und a^1 verbunden ist: b ist das Inspirationsventil, b_1 das Expirationsventil. Die ausgeatmete Luft geht von b_1 zu den Woulffschen Flaschen c und c_1, welche mit Bimssteinstückchen gefüllt sind, die mit starker Kalilauge durchtränkt sind. Hier

wird also die ausgeatmete Kohlensäure absorbiert. Die Inspiration erfolgt durch die Röhre a_1 aus dem großen, 17 l fassenden Luftbehälter L, in welchen die aus C_1 strömende kohlensäurefreie Luft hineintritt. Der verbrauchte Sauerstoff wird automatisch ersetzt und zwar ist der dafür beabsichtigte Apparat bei x angefügt.

Der Bau dieses Apparates ist aus Fig. 48 B ersichtlich. G ist das Gasometer, in welches Sauerstoff durch r eingeleitet wird. Durch S strömt der Sauerstoff zum Atemapparat; den dabei nötigen Druck besorgt die

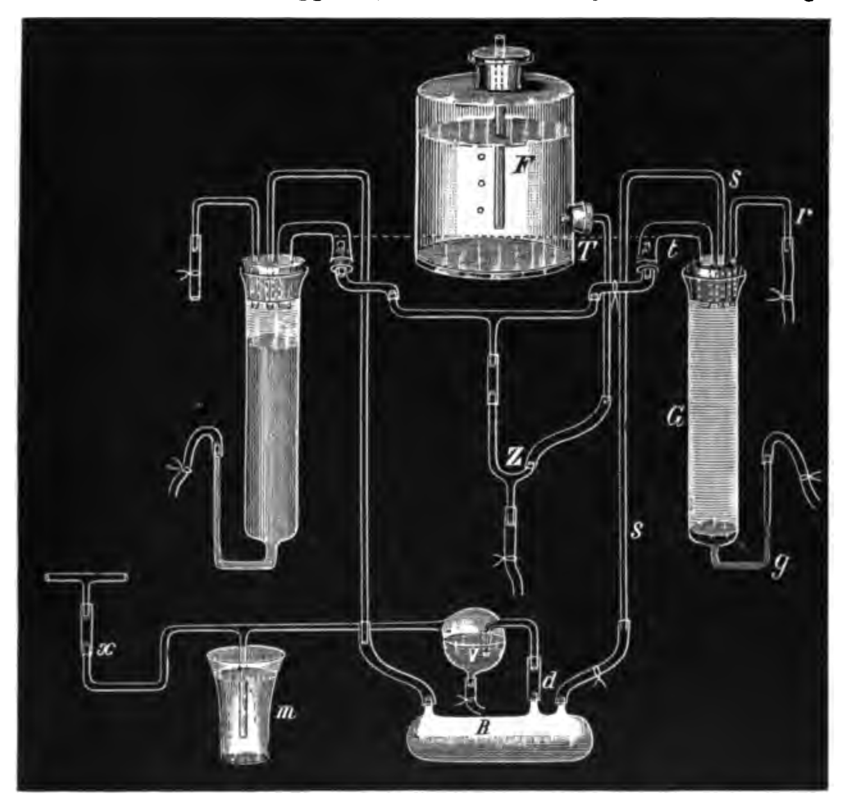


Fig. 48b.
Apparat von Geppert.

Mariottesche Flasche F durch das Röhrensystem T-z-t; die Röhre z dient zur Einstellung des Druckes in der Mariotteschen Flasche. Der ausgetriebene Sauerstoff tritt dann in die Röhre R und von dort durch das Wasserventil v zum Atemapparat.

Ein zweiter Gasometer von genau gleicher Größe ist (links in der Fig.) an das System angeschlossen, um zu gestatten, den Versuch fortzusetzen, nachdem der Sauerstoff im ersten Gasometer verbraucht ist.

Der Sauerstoffverbrauch wird durch Ablesung des Standes in den Gasometern bestimmt.

18. Der Apparat von Zuntz und Hagemann (1897). Dieser stimmt in allen wesentlichen Teilen mit den oben S. 121 folg. beschriebenen überein (34).

Nur sind die Dimensionen des Apparates entsprechend der Größe des Versuchstieres (Pferd) größer und die Vorrichtung zur Probenahme ist auch etwas anders gebaut.

Die Achse der Gasuhr verlängert sich nach hinten (Fig. 49) und diese Verlängerung trägt zwei, etwa 10 cm voneinander entfernt aufgekeilte, halbkreisförmige Scheiben, welche einander zu einer vollen Kreisperipherie ergänzen. In einer eisernen, mit Quecksilber gefüllten Wanne befinden sich zwei unten offene Glaszylinder, welche nach oben in je eine lange eiserne Führungsstange auslaufen. Jede Führungsstange befindet sich an der linken Seite der Gasuhrenachse zwischen der Peripherie eines der obengenannten Halbkreise und einer Friktionsrolle, welche durch eine Stahlfeder gegen

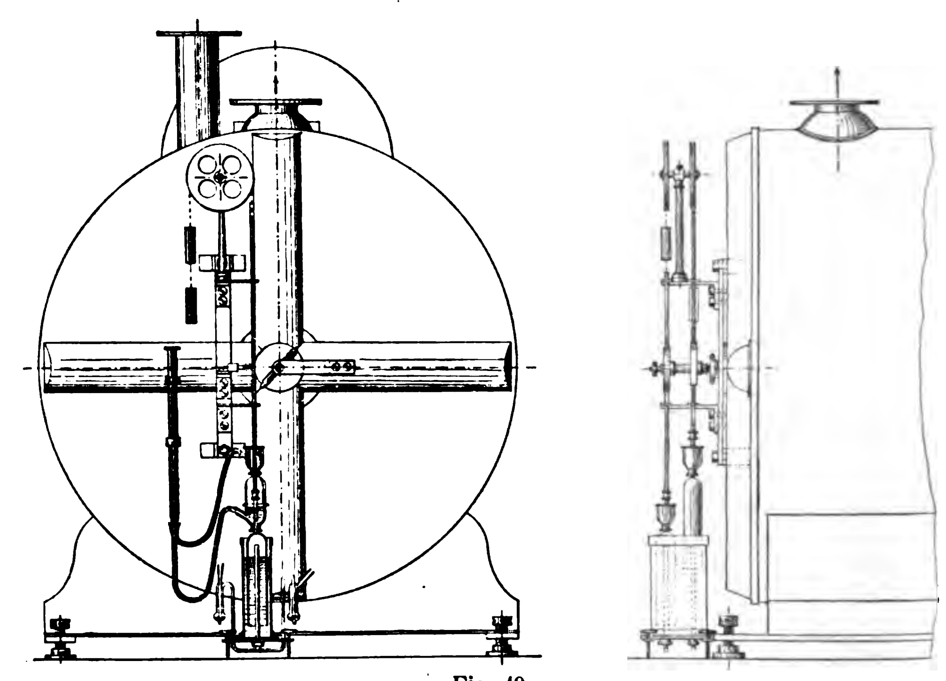


Fig. 49.
Apparat von Zuntz-Hagemann.

die Rückseite der Führungsstange gedrückt wird. Diese ist daher, solange sich der zu ihr gehörende Halbkreis auf der linken Seite der Gasuhrachse befindet, zwischen diesem Halbkreis und der Friktionsrolle angepreßt und wird bei der Drehung der Achse durch den Halbkreis emporgehoben. In dem Moment, wo der letztere die linke Hälfte seiner Bahn zurückgelegt hat und daher die Führungsstange frei läßt, kommt der andere Halbkreis mit seiner Führungsstange in Kontakt und beginnt diese mit der zugehörigen Glocke zu heben. Damit diese Hebung genau im richtigen Moment abbreche und auch im Falle einer geringen Rückpendelung der Gasuhrachse die Stange nicht nochmals gefaßt werde, befindet sich an jeder Scheibe ein nasenartiger Vorsprung, welcher eine kleine Schiene zurückdrängt und dadurch die Friktionsrolle, welche die Führungsstange bisher gegen den Halbkreis andrängte, außer Wirksamkeit setzt. Jeder Glocke ist oben ein Glastrichter aufgekittet, welcher derart mit Quecksilber belastet ist, daß die sich selbst überlassene Glocke langsam vollständig in das Quecksilber einsinkt. Da während des Einsinkens der Auftrieb der Glocke zunimmt, muß derselbe durch Nachfließen von Quecksilber ausgeglichen werden. Dies geschieht durch ein neben der Glocke angebrachtes, mit dem Quecksilberaufsatz mittels eines Kautschuk-

schlauches kommunizierendes zylindrisches Glasrohr von passender Weite (Pflüger; (vgl. oben S. 138).

Dicht unter der Kuppe jedes Zylinders mündet ein von unten aufsteigendes, den Boden der Wanne durchbohrendes Glasrohr von etwa 2 mm Weite. Dieses Glasrohr gabelt sich unter dem Boden der Wanne in je einen nach rechts und links verlaufenden Schenkel, deren jeder in einem nach dem Prinzip der Spritzflasche konstruierten kleinen Quecksilberventil endet. Das eine Paar der Ventile gestattet eine Bewegung der Luft zu den Zylindern und steht in Verbindung mit der Leitung, welche die Exspirationsluft zum Gasmesser führt. Das andere Paar führt zu dem Quecksilbergasometer, in welchem die Durchschnittsprobe der Atemluft gewonnen wird.

Die oben beschriebene Vorrichtung zur Hebung der Zylinder ist, wie eben erwähnt, so konstruiert, daß genau in dem Moment, in welchem der eine Zylinder von seiner Friktionsscheibe losgelassen wird, die Hebung des anderen beginnt. Die Probenahme ist also ganz kontinuierlich und auch, da die Hebung entsprechend der Bewegung der Gasuhrachse erfolgt, genau proportional der Menge der exspirierten Luft.

Nach den an diesem Apparat mit brennenden Kerzen gemachten Kontrollversuchen betrug der Fehler der Sauerstoffbestimmung bei Analysen über Quecksilber im Mittel aus drei Versuchen — 1,0, der der Kohlensäurebestimmung — 2,15 %. Bei Analysen über Wasser waren die Fehler bzw. + 1,49 und — 1,61 %. Die Grenzwerte betrugen für Sauerstoff über Quecksilber + 0,16 bis — 1,10, über Wasser + 3,52 bis — 0,63; für Kohlensäure über Quecksilber — 0,22 bis — 4,43, über Wasser — 1,15 bis — 2,42 %.

19. Bei Respirationsversuchen an kurarisierten Tieren, wo die künstliche Atmung unterhalten werden muß, benutzt Zuntz (79) zwei dickwandige Gummiballons, wie sie zu Spritzen gebräuchlich sind, und bringt sie nebeneinander derart an, daß sie durch ein in passendem Scharnier bewegliches Brett gleichzeitig stark zusammengedrückt werden. Die Ballons stehen mit einer Röhrenleitung zur Trachea in Verbindung und zwar enthält diese Röhrenleitung 1. ein Spirometer mit Sauerstoff und 2. vier Ventile mit Kalilauge. Bei der Kompression des einen Ballons (A) strömt die Luft in die Trachea, bei der Kompression des anderen (B) in das Spirometer. Bei seiner Wiederausdehnung füllt sich A mit Sauerstoff aus dem Spirometer, während B Luft aus den Lungen saugt. (Vgl. auch Dohmen (80) sowie Finkler und Oertmann (81)). Später (82) benutzt Zuntz zur Unterhaltung der künstlichen Atmung zwei von einem Motor getriebene Quecksilberpumpen und hat den Apparat in mehreren Beziehungen noch verbessert, worüber Näheres in der Originalabhandlung.

20. O. Frank und F. Voit (93) benutzten zur künstlichen Atmung einen Blasebalg, an welchem sich zunächst ein größeres Wasserventil anschließt, das ein Zurücktreten der Luft in den Blasebalg und ins Freie verhindern soll. Nach diesem folgt eine Glaskugel, die das aus dem Ventil verdunstende Wasser und den aus der Trachealkanüle abfließenden Schleim aufnehmen soll. Diese ist mit dem einen paarigen Schenkel der T-förmigen Trachealkanüle verbunden; der unpaarige Schenkel ist in die Trachea eingebunden; der andere paarige Schenkel setzt die Leitung zu den Absorptions- und Analyseapparaten fort und trägt einen Hahn zur Regulierung des Widerstandes in dieser Leitung. Die Leitung wird endlich mit dem großen Rohr des Pettenkoferschen Respirationsapparates (s. oben S. 84) verbunden und die Bestimmung der Kohlensäureabgabe findet in der bei diesem Apparat beschriebenen Weise statt.

Unter den zur künstlichen Atmung der kurarisierten Tiere angegebenen Apparaten finden sich übrigens mehrere, die sich mit großem Vorteil zur Bestimmung des respiratorischen Gaswechsels verwenden lassen (vgl. Pawlows Darstellung in diesem Handbuch I, 1, S. 49 ff.).

Anhang.

Die Konstruktion der Gasuhren.

Die Konstruktion der Gasuhren ergibt sich aus Fig. 50—52. Die Luft tritt durch den Einlaß E ein und geht durch die Ventilkammer

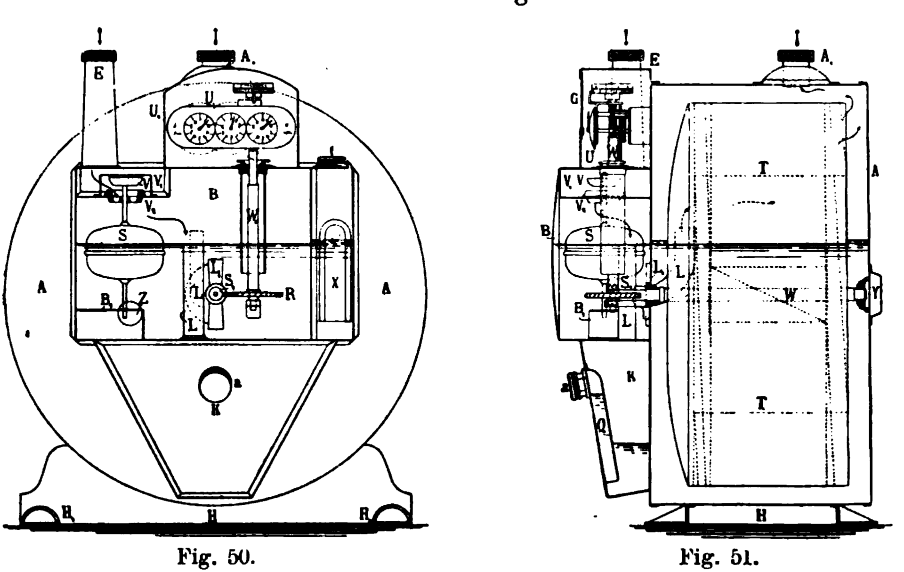


Fig. 50. Fig. 51.

V_1, zwischen Ventil V und Ventilsitz V_2 in den Brustkasten B. Das Knierohr L, das, gerade abgeschnitten, eine wichtige Rolle in bezug auf den Trommelinhalt spielt, indem durch Verkleinern oder Verlängern von L letzterer ebenfalls verändert wird, nimmt die Luft aus dem Brustkasten auf und leitet sie in die Trommel T, die mit ihren eigens konstruierten Kammern sich im Gehäuse A dreht.

Die Trommel enthält vier Kammern, von denen 3 Stück zum Teil mit Luft gefüllt sind.

Die erste Kammer in der Trommel nimmt Luft auf, die zweite ist völlig gefüllt und die dritte gibt die gemessene Luft an den Zwischenraum zwischen Trommeloberfläche und Gehäuse A ab. Die so gemessene Luft entweicht durch den Auslaß A_1. Man hat somit bei einer Umdrehung der Trommel T bezw. der damit verbundenen Welle W ein bestimmtes Maß für die entwichene Luft.

Die Welle W tritt nun ihrerseits in den Brustkasten, wird getragen durch das Lager L_1 und hat am Ende eine einfache, oder, wenn erforderlich,

eine doppelgängige Schnecke, S_1, welche in ein Schneckenrad R, gewöhnlich mit 28 Zähnen, eingreift.

Das Schneckenrad sitzt an einer senkrechten Welle W_1, die durch den Brustkasten B in den Uhrkasten U mittels Stopfbüchse eintritt. Zwecks Abdichtung wird die Welle noch mit einem Rohr umgeben, welches einen Wasserabschluß bildet.

Die Umdrehungen der Welle W übertragen sich auf das Uhrwerk U_1. Dasselbe hat eine Literscheibe, die bei 2 Liter kleinster Einteilung 50, 100 usw. Liter per Tour je nach Vorschrift angibt; dann drei Scheiben, welche Kubikmeter, 10 Kubikmeter und 100 Kubikmeter anzeigen.

Soll der Gasmesser in Betrieb gesetzt werden, so muß er mit Wasser aufgefüllt werden. Zu dem Zwecke schraubt man die Füllschraube f und Ablaßschraube a am Wasserkasten K ab, gießt Wasser in den Auslaß, bis vorne an die Ablaßschraube Wasser abzulaufen beginnt. Alsdann wird Einlaß und Auslaß an die Rohrleitung angeschraubt und durch den Gasmesser Luft hindurchgelassen. Wenn sich nun der Druck im Gasmesser allseitig mitgeteilt hat, füllt man durch die Füllschraubenöffnung bei f noch etwas Wasser nach, damit der Wasserstand in der Trommel die Höhe erreicht, welche ihm das Knierohr gestattet. Zuletzt werden Füllschraube und Ablaßschraube wieder angeschraubt.

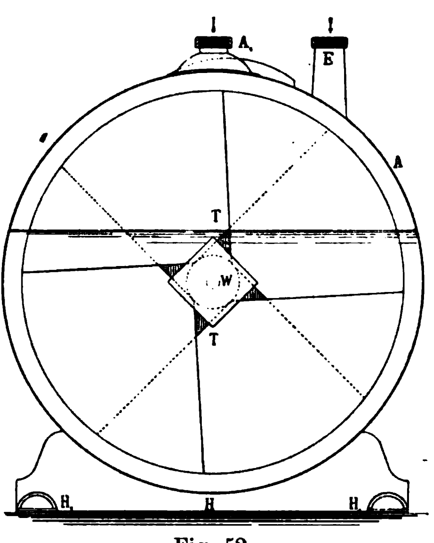


Fig. 52.

Das Gehäuse ruht auf dem Fußgestell H, das gegen Kippen durch 4 Fußnägel H_1 gesichert wird, und ist für horizontale Aufstellung desselben Sorge zu tragen. (Nach einer Beschreibung von S. Elster in Berlin.)

Das Schwimmerventil S mit dem Ventilteller fehlt bei Experimentiergasmessern. Diese Anordnung trifft nur für Konsumgasmesser zu, die in den Städten zur Ausführung gelangen, bei welchen von der Eichungs-Inspektion ein Schwimmerventil vorgeschrieben ist.

Literatur.

1) Lavoisier, Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leur poumons. Mém. de l'Académie des sciences 1777, S. 185. Oeuvres, 2, S. 174.

2) — — et de Laplace, Mémoire sur la chaleur. Ebenda 1780, S. 355. Oeuvres, 2, S. 283.

3) — — et Seguin, Premier mémoire sur la respiration des animaux. Ebenda 1789, S. 566. Oeuvres, 2, S. 688.

4) — — et Seguin, Second mémoire sur la respiration. Ann. de chimie 91, S. 318; 1814.

5) Atwater, W. O., and F. G. Benedict, Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. U.S. Department of agriculture. Office of experiment Stations. Bul. No. 69, 109, 136; Washington 1899—1903.

6) Benedict, F. G., and R. D. Milner, Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body 1903—1904. Ebenda, Washington 1907.

7) Benedict, F. G, The influence of inanition on metabolism. Carnegie Institution of Washington. Publication No. 77. 1907.

8) Tigerstedt, R., Der Energiewechsel. In Oppenheimers Handbuch d. Biochemie 4:2, S. 1, 1909.

9) Zuntz, N., A. Loewy, F. Müller und W. Caspari, Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen. Berlin 1906.

10) Bleibtreu, Max, Fettmast und respiratorischer Quotient. Arch. f. d. ges. Physiol. 85, S. 344—400; 1901.

11) Pembrey, M. S., Further observations upon the respiratory exchange and temperature of hibernating animals. Journ. of physiol. 29, S. 195—212; 1903.

12) Speck, C., Physiologie des menschlichen Atmens nach eigenen Untersuchungen. Leipzig 1892.

13) Katzenstein, G., Über die Einwirkung der Muskelarbeit auf den Stoffverbrauch des Menschen. Arch. f. d. ges. Physiol. 49, S. 330—404; 1891.

14) Johansson, J. E., Über die Tagesschwankungen des Stoffwechsels und der Körpertemperatur in nüchternem Zustande und vollständiger Muskelruhe. Skand. Arch. f. Physiol. 8, S. 85—142; 1898.

15) Smith, E., Experimental inquiries into the chemical and other phenomena of respiration. Philosoph. transactions of the Royal Society. 1859, S. 681—714.

16) Allen, W., and W. H. Pepys, On the changes produced in atmospherical air and oxygen gas by respiration. Philosophical transactions, 1808; 2, S. 249—281.

17) Andral et Gavarret, Recherches sur la quantité d'acide carbonique exhalé par le poumon dans l'espèce humaine. Ann. de chimie et de physique. 3e série, 8; 1843.

18) Regnard, P., Recherches expérimentales sur les variations pathologiques des combustions respiratoires. Paris 1879.

19) Geppert, J., Die Einwirkung des Alkohols auf den Gaswechsel des Menschen. Arch. f. exp. Pathol. 22, S. 367—384; 1887.

20) Zuntz, N., C. Lehmann und andere, Untersuchungen an zwei hungernden Menschen. Arch. f. path. Anat. 131, Suppl. 1893.

21) Magnus-Levy, A., Über die Größe des respiratorischen Gaswechsels unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme. Arch. f. d. ges. Physiol. 55, S. 1—126; 1893.

22) Loewy, A., Die Wirkung ermüdender Muskelarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel. Ebenda, 49, S. 405—422; 1891.

23) Durig, A., Über den Erhaltungsumsatz. Denkschriften d. Wiener Akad., math.-naturw. Klasse, 86, S. 116—231; 1909.

24) Hanriot, M., et Ch. Richet, Des échanges respiratoires chez l'homme. Travaux de laboratoire de Richet, 1, S. 470—531; 1893.

25) Tissot, J., Appareil pour mesurer le débit et les échanges respiratoires. Archives de physiol., 1896, S. 562—571.

26) v. Wendt, G., Über die Einwirkung des Alkohols auf die Körpertemperatur des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol., 19, S. 171—181; 1907.

27) Benedict, F. G., An apparatus for studying the respiratory exchange. Amer. Journ. of Physiol., 24, S. 345—374; 1909.

28) Schnyder, L., Muskelkraft und Gaswechsel. Zeitschr. f. Biol., 33, S. 289—319: 1896.

29) Bürgi, E., Der respiratorische Gaswechsel bei Ruhe und Arbeit auf Bergen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1900, S. 509—543.

30) Sanders-Ezn, Der respiratorische Gasaustausch bei großen Temperaturänderungen. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., math.-phys. Klasse, 1867, S. 58—98.

31) Zuntz, N., und A. Röhrig, Zur Theorie der Wärmeregulation und der Balneotherapie. Arch. f. d. ges. Physiol. 4, S. 57—90; 1871.

32) Wolfers, J., Untersuchungen über den Einfluß einiger stickstofffreier Substanzen auf den tierischen Stoffwechsel. Ebenda, 32, S. 222—279; 1883.

33) Heerlen, W., Das Koffein und das Kaffeedestillat in ihrer Beziehung zum Stoffwechsel. Ebenda, 52, S. 165—185; 1892.

34) Zuntz, N., und O. Hagemann, Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Neue Folge. Berlin 1898.

35) Scharling, E., Förelöbige Forsög over den Quantitet Kulsyre, et Menneske udaanderi 24 timer. Skandinaviska Naturforskaremötet 1842, S. 269—282.

36) Pettenkofer, M., Über die Respiration. Ann. d. Chemie und Pharmazie. II. Suppl.-Bd., S. 1—52; 1862.

37) Voit, Carl, E. Voit und J. Forster, Über die Bestimmung des Wassers mittels des Pettenkoferschen Respirationsapparates. Zeitschr. f. Biol. 11, S. 126—186; 1875.

38) Pettenkofer, M., und C. Voit, Untersuchungen über die Respiration. Ann. d. Chemie und Pharmazie. II. Supp.-Bd. S. 52—70; 1882.

39) Stohmann, F., Über Wasserbestimmungen mittels des Respirationsapparates. Landwirtschaftl. Versuchsstat. 19, S. 81—117, 159; 1876.

40) Kühn, G., und A., Fütterungs- und Respirationsversuche mit volljährigen Ochsen über die Fettbildung aus Kohlehydraten. Ebenda, 44, S. 264—317; 1894.

41) Wolpert, H., Über den Einfluß der Lufttemperatur auf die im Zustand anstrengender körperlicher Arbeit ausgeschiedenen Mengen Kohlensäure und Wasserdampf beim Menschen. Arch. f. Hygiene, 26, S. 32—67; 1896.

42) Rubner, M., Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung. Leipzig und Wien 1903 (S. 17).

43) Sondén, K., und R. Tigerstedt, Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. Skand. Arch. f. Physiol., 6, S. 1—225; 1895.

44) Johansson, J. E., Über den Einfluß der Temperatur in der Umgebung auf die Kohlensäureabgabe des menschlichen Körpers. Ebenda, 7, S. 122—177; 1896.

45) Jacoby, Über Ventilationsformeln. Zeitschr. f. Biol. 14, S. 1; 1878.

46) Rosenberg, Tora, Prüfung des Sondén-Tigerstedtschen Respirationsapparates. Skand. Arch. f. Physiol. 16, S. 79—87; 1904.

47) Tigerstedt, R., Der Respirationsapparat im neuen physiologischen Institut zu Helsingfors. Ebenda, 18, S. 298—305; 1906.

48) Atwater, W. O., and E. B. Rosa, Description of a new respiration calorimeter. U.S. Departement of agricult. Off. of exp. Stations. Bul. No. 63. Washington 1899.

49) Liebermeister, Deutsch. Arch. f. klin. Med. 7, S. 75—117; 1870.

50) Jaquet, A., Ein neuer Apparat zur Untersuchung des respiratorischen Stoffwechsels des Menschen. Verhandl. d. Naturf.-Gesellsch. in Basel 15, S. 252—271; 1903.

51) Grafe, E., Ein Respirationsapparat. Zeitschr. f. physiol. Chemie, 65, S. 1—20; 1910.

52) — — Ein Kopfrespirationsapparat. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 95, S. 529—542; 1909.

53) Voit, C., Beschreibung eines Apparates zur Untersuchung der gasförmigen Ausscheidungen des Tierkörpers. Zeitschr. f. Biol. 11, S. 532—586; 1875.

54) Pott, R., Vergleichende Untersuchungen über die Mengenverhältnisse der durch Respiration und Perspiration ausgeschiedenen Kohlensäure bei verschiedenen Tierspezies. Landwirtschaftl. Versuchs-Stat., 18, S. 81—166; 1875.

55) Leyden, E., und A. Fränkel, Über den respiratorischen Gasaustausch im Fieber. Arch. f. path. Anat. 76, S. 136—211; 1879.

56) Haldane, J., A new form of apparatus for measuring the respiratory exchange of animals. Journ. of physiol., 13, S. 419—430; 1892.

57) Rosenthal, J., Kalorimetrische Untersuchungen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1894, S. 246—256.

58) Laulanié, F., Sur un appareil pour la mesure des échanges respiratoires. Arch. de physiol., 1895, S. 619—628.

59) — —, De l'exploration du chimisme respiratoire. Ebenda, 1895, S. 636—640.

60) Regnault, V., et J. Reiset, Recherches chimiques sur la respiration des animaux des diverses classes. Ann. de chimie et de physique, 3e série, 26, S. 299—519; 1849.

61) Reiset, J., Recherches chimiques sur la respiration des animaux d'une ferme. Ebenda, 3e Série, 69, S. 129—169; 1863.

62) Hoppe-Seyler, F., Apparat zur Messung der respiratorischen Aufnahme und Abgabe von Gasen am Menschen nach dem Prinzipe von Regnault. Zeitschr. f. physiol. Chem. 19, S. 574—589; 1894.

63) Atwater, W. O., and F. G. Benedict, A respiration calorimeter with appliance for the direct determination of oxygen. Carnegie Institution of Washington. Publ. No. 42. Washington 1905.

64) Benedict, F. G., and Th. M. Carpenter, Respiration calorimeters for studying the respiratory exchange and energy transformations of man. Ebenda, No. 123. Washington 1910.

65) Stroganow, N., Beiträge zur Kenntnis des Oxydationsprozesses im normalen und Erstickungsblute. Arch. f. d. ges. Physiol. 12, S. 18—50; 1876.

66) Colasanti, G., Über den Einfluß der umgebenden Temperatur auf den Stoffwechsel der Warmblüter. Ebenda, 14, S. 92—124; 1877.

67) Schulz, H., Über das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Stoffwechsel und Körpertemperatur bei den Amphibien. Ebenda, 12, S. 78—91; 1877.

68) Finkler, D., Beiträge zur Lehre von der Anpassung der Wärmeproduktion an den Wärmeverlust bei Warmblütern. Ebenda, 15, S. 603—633; 1877.

69) Seegen, J., und J. Nowak, Versuche über die Ausscheidung von gasförmigem Stickstoff aus den im Körper umgesetzten Eiweißstoffen. Ebenda, 19, S. 347—415; 1879.

70) Leo, H., Untersuchungen zur Frage der Bildung von freiem Stickstoff im tierischen Organismus. Ebenda, 26, S. 218—236; 1881.

71) Nemser, M., Ein Respirationsapparat mit einer neuen Einrichtung für die Ventilation der Kammer. Ebenda, 45, S. 284—292; 1889.

72) Rosenthal, J., Über die Sauerstoffaufnahme und den Sauerstoffverbrauch der Säugetiere. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1898, S. 271—281.

73) Pflüger, E., Über den Einfluß, welchen Menge und Art der Nahrung auf die Größe des Stoffwechsels und der Leistungsfähigkeit ausüben. Arch. f. d. ges. Physiol. 77, S. 425—482; 1899.

74) Rosenthal, J., Untersuchungen über den respiratorischen Stoffwechsel. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1902. S. 167—199.

75) Zuntz, N., Ein nach dem Prinzip von Regnault und Reiset gebauter Respirationsapparat. Ebenda, 1905, Suppl., S. 431—435.

76) Oppenheimer, C., Über die Frage der Anteilnahme elementaren Sauerstoffs am Stoffwechsel der Tiere. Biochem. Zeitschr. 4, S. 328—470; 1907.

77) Krogh, A., Experimentelle Untersuchungen über die Ausscheidung freien Stickstoffes aus dem Körper. Wiener Sitz.-Ber., math.-naturw. Klasse, 115, Abt. 3, S. 571—654; 1906.

78) Nagai, H., Der Stoffwechsel des Winterschläfers. Zeitschr. f. allg. Physiol. 9, S. 243—367; 1909.

79) Zuntz, N., Über den Einfluß der Kurarevergiftung auf den tierischen Stoffwechsel. Arch. f. d. ges. Physiol. 12, S. 522—526; 1876.

80) Dohmen, W., Untersuchungen über den Einfluß, den die Blutgase auf die Atembewegungen ausüben. Unters. aus d. physiol. Laborat. zu Bonn. S. 82—143; 1865.

81) Finkler, D., und E. Oertmann, Über den Einfluß der Atemmechanik auf den Stoffwechsel. Arch. f. d. ges. Physiol. 14, S. 38—72; 1877.

82) Zuntz, N., Über die Benutzung kurarisierter Tiere zu Stoffwechseluntersuchungen. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1884, S. 380—396.

83) Jolyet, F., et P. Regnard, Recherches sur la respiration des animaux aquatiques. Arch. de physiol., 1877, S. 44—62.

84) Zuntz, N., Ein Respirationsapparat für Wassertiere. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1901.

85) Winterstein, H., Beiträge zur Kenntnis der Fischatmung. Arch. f. d. ges. Physiol., 125, S. 73—98; 1908.

86) Vernon, H. M., The relation of the respiratory exchange of cold-blooded animals to temperature. Journ. of. physiol., 17, S. 277—292. 1894.

87) Pembrey, M. S., On the reaction-time of mammals to changes in the temperature of their surroundings. Ebenda, 15, S. 401—420; 1894.

88) Lovén, Chr., Einige Untersuchungen über die vitale Mittellage der Lungen. Nordiskt medicinskt arkiv IV, Nr. 2, S. 1—22; 1872. — Anat. und physiol. Arbeiten. Leipzig 1906.

89) Müller, Beiträge zur Theorie der Respiration. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. der Wiss., math.-naturw. Klasse, 33, S. 101; 1859.

90) Thiry, zit. nach Gscheidlen, Physiol. Methodik, S. 532.

91) v. Recklinghausen, H., Über die Atmungsgröße der Neugeborenen. Arch. f. d. ges. Physiol., 62, S. 451—493; 1896.

92) Krogh, A., Über die Prinzipien der exakten Respirationsversuche. Biochem. Zeitschr. 7, S. 24—37; 1908.

93) Frank, O. und F. Voit, Der Ablauf der Zersetzungen im tierischen Organismus bei der Ausschaltung der Muskeln durch Curare. Zeitschr. f. Biol., 42, S. 309 bis 362; 1901.

94) Weinland, Über die Stoffumsetzungen während der Metamorphose der Fleischfliege. Ebenda, 47, 186—231; 1906.

III.

Die Kalorimetrie

von

Max Rubner in Berlin.

(Mit 40 Figuren.)

Einleitung.

Die Bestimmung von Wärmequanten, die Kalorimetrie, ist für den Physiologen, nach zwei Gesichtspunkten betrachtet, eine Aufgabe von großer Bedeutung. Die Wärme ist in der Biologie eine Erscheinung, die um ihrer selbst willen einer Messung unterzogen wird, spielen doch Eigentemperaturen im Gebiet des Belebten überall eine Rolle, sie verlangt aber eine durch die kalorimetrische Messung allein ermöglichte Erklärung. Die Wärme ist ferner wie bei den Vorgängen des Unbelebten als Energieform, in welche andere leicht übergeführt werden können, von Bedeutung.

Diejenige Energie, welche besonders in der organischen Welt ein Rolle spielt, ist die chemische Spannkraft neben jener freien Energie, die in den Pflanzen den Chlorophyllkörnern durch die Sonnenstrahlung zugeführt wird, aber biologisch doch mehr einen sekundären Prozeß darstellt.

Kein Leben ohne Ernährung, ohne Verbrauch von Stoffen, ohne Bildung von Spaltungsprodukten unter Verminderung der chemischen potentiellen Energie. Die ursprüngliche Auffassung des Tierlebens als eine Verbrennung unter oxydativem Abbau der Stoffe hat der allgemeinen energetischen weichen müssen, denn nur die letztere umfaßt auch jene primitiven Lebensformeln bei den Bakterien und Hefen, wo Spaltungsvorgänge ohne Beteiligung des Sauerstoffs die Quelle der Energie für die lebende Substanz bilden.

Die Desenergisierung ist die generelle Formel der lebenden Substanz, der Chemismus die spezielle Formel der Arten und Spezies; beide stehen in untrennbarem Zusammenhang. Noch im Jahre 1882 sehen wir in dem Handbuch der Physiologie von Hermann, einem Standardwerk des damaligen Wissens, Wärmelehre und Ernährungslehre als völlig getrennte Abschnitte und unabhängig voneinander behandelt. Heute ist eine solche Trennung nicht mehr durchführbar, eine Stoffwechsellehre ohne energetische Basis nicht denkbar.

Ist sonach die Bestimmung des Energiekonsums der fundamentalere und weitergreifendere Gesichtspunkt, so hat doch z. B. beim Warmblüter die Wärme

als solche eine besondere Funktion zu entfalten, durch die Erhaltung der Körpertemperatur, kann aber auch bei Kaltblütern in Fragen ihrer Resistenz bei Erhöhung der Leibestemperatur von Bedeutung werden.[1])

Der Lebensvorgang besteht in der fortwährenden Veränderung der lebenden Substanz durch den Energievorrat der Nahrung, mit sekundärer Bildung von Wärme oder anderer Kraftformen.

Aber auch für die Untersuchung intermediärer Vorgänge der Umsetzungen bei Tieren werden die kalorimetrischen Untersuchungen eine größere Bedeutung gewinnen müssen, denn es ist klar, daß man im Organismus zwei prinzipiell verschiedene Prozesse der Desenergisierung finden muß, auf die ich bereits vor vielen Jahren hingewiesen habe.[2])

Im Organismus verlaufen eine Reihe von Reaktionen rein fermentativ, ohne direkte Beziehung zur lebenden Substanz, zweifellos darunter solche mit Wärmeentwicklung; da Wärme an und für sich das Lebende nicht mit Energie versorgen kann, sind solche nach Art einfacher chemischer Reaktionen verlaufende Prozesse zumeist als Energieverluste anzusehen und werden nur unter bestimmten Verhältnissen etwa bei den höheren Tieren, die eine chemische Wärmeregulation besitzen, verwendet, um Wärmeverluste abzugleichen.

Auch die verschiedenen Fermentierungsvorgänge gehören also in das Gebiet der kalorimetrischen Experimente mit hinein. Soviel wir schon jetzt wissen, ist der thermochemische Vorgang bei diesen Prozessen ein höchst ungleicher und biologisch wesentliche Veränderungen erfolgen oft mit sehr geringfügigen Wärmetönungen oder sogar als thermisch völlig indifferente Reaktionen. Man darf nicht annehmen, daß alle im Leben bedeutungsvollen Prozesse sich in erhebliche Wärmebildung ausprägen müssen. So ist zweifellos der Wachstumsprozeß zwar mit einer Massenveränderung und einem Zuwachs an Spannkraft überhaupt durch die Anlagerung neuer Leibesmaterialien verbunden, was aber die Entwicklung von Wärme (oder Absorption derselben) anlangt, ein Vorgang, der mit fermentativer Leistung eine große Ähnlichkeit besitzt, insofern als eine Steigerung des Energieverbrauchs, d. h. der Desenergisierung, während des Anwuchses nicht eintritt.[3])

Immerhin werden auch hier auf dem Gebiete des Wachstums und Anwuchses, wenn man einmal in die Synthese des Eiweißes, d. h. der Organmasse des Körpers einen Einblick gewonnen haben wird, auch thermische Betrachtungen möglich sein, denn es ist wahrscheinlich oder sicher, daß das eingeführte Nahrungsmaterial an Eiweiß nicht immer die Bausteine des zu bildenden Organs in den richtigen Quanten enthält, so daß das Eingeführte nicht in seiner Totalität dem Wachstumszuwachs oder Ansatz dienen kann, sondern nur bestimmte Teilstücke.[4])

Es ist weiterhin zu erwägen, daß bei niederen Organismen auch komplizierte Synthesen ausgeführt werden, bei denen der Nutzungswert des Roh-

1) M. Rubner, Kraft und Stoff im Haushalt der Natur, Leipzig 1909.

2) Gesetze des Energieverbrauchs, Leipzig u. Wien 1902 S. 376. Kraft und Stoff 1909 S. 77.

3) Rubner, Kraft und Stoff l. c. S. 103.

4) Thomas, Die biologische Wertigkeit usw., Arch. f. Physiol. 1909.

materials vielfach ein sehr geringer ist, gegenüber den Verhältnissen bei den vollkommener organisierten Tieren. Wir stehen aber auf diesem Gebiete der Erkenntnis noch in den Anfängen.

Im Rahmen dieser Auffassung des Lebensprozesses zerfällt die Methodik der Kalorimetrie in zwei wohl getrennte Gebiete:

a) in eine physikalische Messung des Kraftvorrates des Tierleibs selbst und jener der chemischen Verbindungen, die als Nahrungsmaterial in eine Zelle eintreten, und endlich jener Stoffe, die aus den Zellen oder aus dem Organismus wieder austreten.

Die wissenschaftlichen Ziele solcher Untersuchungen können mannigfach sein, ich habe sie bereits skizziert. Handelt es sich um einen Ernährungsvorgang, so erlaubt die Vergleichung der Kraftzufuhr und der Ausfuhr die Aufstellung einer Bilanz, welcher unter der Voraussetzung eines gleichbleibenden Körpergewichts zum Ausdruck für den Gesamtverbrauch an Energie wird (Gesamtstoffwechsel, Kraftwechsel).

Hier wird uns aber sofort die Grenze der Leistungsfähigkeit der thermischen Methodik klar. Falls die Voraussetzung unveränderten Körperbestandes nicht gegeben ist, so fehlt in dem einen Falle eine Summe von Kalorien, die zum Ansatz oder Wachstum dient, in dem andern bei ungenügender Zufuhr läßt der Körperverfall ahnen, daß ein Mangel der Ernährung vorliegt; eine Charakterisierung der fehlenden oder überschüssigen Quantität ist ohne weitere Hilfsmittel aber unmöglich, aber nötig, denn wir haben es in beiden Fällen unter Umständen mit der Zurückhaltung oder Abgabe von Stoffen verschiedener Art zu tun.

Die Methodik kann also völlig versagen, sie ist nicht selbständig, sondern bedarf einer Hilfsmethodik, der Bestimmung der ernährungsphysiologischen Vorgänge, welche besagen, ob und welche Stoffe genügt haben, den Körper intakt zu erhalten, und welche es sind, die zur Zerstörung gelangt sind. Erst so ist eine sichere Bilanz des Kraftwechsels möglich. Die kombinierte Methodik kann den Aufgaben einer quantitativen Energiebilanz voll genügen, denn im Tierleib gilt das Gesetz der Erhaltung der Kraft ebenso strenge wie außerhalb. Andere Kräfteformen als Wärme (thermometrisch meßbare oder Veränderungen des Aggregatzustandes des Wassers = Wasserverdunstung) und äußere Arbeit kommen nicht in Betracht. Verfasser hat 1891 zuerst bewiesen, daß die durch Nahrungsstoffe dem Tierkörper zur Benutzung stehende Energie im Ruhezustande, in welchem äußere Arbeit nicht entsteht, bis auf 0,59 % genau wieder erhalten werden kann, und hat den Versuch bis auf 45 Tage ausgedehnt. Atwater und Benedict haben diese Ergebnisse am Menschen vollauf bestätigt.

Es kann daher fraglich sein, ob man dann der direkten Wärmemessung bedarf und ob nicht die ernährungsphysiologische Bilanz mit Berechnung des Energieverbrauchs (indirekte Kalorimetrie) an sich genügt. Dies ist zweifellos für viele Fälle zu bejahen, für andere aber zu verneinen.

Für das Studium thermochemischer Umsetzungen und intermediärer Teilprozesse der Ernährung liegt die Anwendbarkeit der Methodik als vollberechtigt und einwandsfrei auf der Hand.

b) in die Messung der im Leben eines Tieres wirklich frei gewordenen Energie als Wärme.

Ich schlage hierfür den Namen Biokalorimetrie vor, die also alle Methoden umfaßt, welche die im Lebensprozeß frei werdende Wärme am lebenden Objekt selbst zu messen haben.

Es handelt sich genau betrachtet auch um eine physikalische Messung, aber die Eigenart des Tier- und Menschenmaterials stellt doch an diese Aufgaben ganz besondere Anforderungen, so daß die Methodik als eine der Physiologie eigentümliche betrachtet werden muß.

Überlegen wir uns nun das Verhältnis der Biokalorimetrie näher, so werden wir sehen, daß sie allein für sich betrachtet auch eine selbständige Anwendung nicht finden kann, weil sie nur eine Form des Energieverlustes — die Wärme — bestimmt, daneben aber noch als Energieverlust Wasserverdunstung und mechanische Arbeit in Betracht kommen, ferner zumeist auch Veränderungen des Körpers, Ansatz oder Abgabe der Stoffe, Fragen nach den Quellen, aus denen die Wärme fließt, zu erörtern sein werden. Die ernährungsphysiologische Analyse ist daher meist nicht zu entbehren. Somit wird die kalorimetrische Berechnung wie die Biokalorimetrie auch mit der Technik der Respirationsbestimmung, die zu einer vollen Bilanz unentbehrlich ist, zusammenhängen müssen. Diese Kombination wird aber einen bedeutenden Fortschritt darstellen.

Je umfangreicher die experimentellen Erhebungen bei einem Tierexperiment sind, um so mehr ist die Untersuchung von bleibendem Wert. Wir verdanken die Fortschritte der Erkenntnis der Ernährung weniger den Erforschungen irgendeines Teilstückes des Stoff- oder Kraftwechsels als vielmehr der kombinierten Prüfung und Untersuchung des gesamten Stoff- und Kraftwechsels.

I. Abschnitt.

Die Bestimmung der Verbrennungswärmen.

Allgemeines.

Die Bestimmung der Verbrennungswärmen beginnt zur selben Zeit, als das Tierkalorimeter zuerst zum Experiment herangezogen worden ist, mit Crawford 1771, dem wenige Jahre später Lavoisier, Rumford u. a. folgten. Crawfords und Lavoisiers Bestimmungen der Verbrennungswärme wurden mit denselben Apparaten ausgeführt, mit denen sie auch ihre Tierexperimente anstellten.

Crawford und Rumford benutzten ein Wasserkalorimeter, Lavoisier ein Eiskalorimeter; erstere maßen die Zunahme der Wassertemperatur, Lavoisier die Menge des Schmelzwassers von Eis.

Die Methoden waren bei Crawford noch recht unvollkommen, besser jene von Rumford und Lavoisier, wie aus folgender Gegenüberstellung einiger Verbrennungswärmen hervorgehen wird:



	1 g Substanz liefert gkal.			
	Heutige Zahlen	Lavoisier	Rumford	Crawford
Wasserstoff	34 200	23 400	—	—
Kohle	8 080	7 226	—	ca. 5 700
Alkohol	7 068	—	6 195	—
Olivenöl	9 442	—	9 044	7 500
trockn. Holz	4 450	—	4 314	—

Die Werte sind, namentlich was Rumfords Messungen anlangt, sogar recht gute Näherungen an die Wirklichkeit.

Die weitere Entwicklung der Kalorimetrie bei Dulong und später durch Favre und Silbermann kann hier nicht weiter berührt werden, da sie für physiologische Zwecke nur wenig Neues brachten, erst in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts gewinnt die Kalorimetrie überhaupt einen neuen Aufschwung, vor allem auch durch das Interesse, das man ihr von thermochemischer Seite zu widmen beginnt.

Die allgemeinen Ziele der kalorimetrischen Methoden haben die Aufgabe zu lösen, daß ein bestimmter thermischer Vorgang, von andern thermischen Vorgängen der Umgebung ungestört, verlaufen kann und die dabei frei werdende Wärme in geeigneter Weise meßbar wird. Alle Instrumente benutzen fast ausnahmslos als Wärmesammler das Wasser, dessen Temperaturzunahme bestimmt werden muß, in recht seltenen Fällen tritt uns die Eisschmelzung wie bei Lavoisier als Methode entgegen.

Unter die äußeren Bedingungen, welche zum Gelingen der kalorimetrischen Messung gehören, fällt ein geeigneter Versuchsraum.

Der Versuchsraum muß eine tunlichst gleichbleibende Luftwärme besitzen und gleichmäßige Wandungstemperaturen, was am besten durch eine permanente, selbstregulierende Heizung eines Zimmers bei genügender Wandstärke der Mauern erreicht werden kann. Außerdem soll die Luftfeuchtigkeit im Raume keine größeren Schwankungen aufweisen.

Zur weiteren Ausrüstung gehört das Kalorimeter im engeren Sinne, das für die meisten Fälle aus einem dünnwandigen mit Wasser gefüllten Metallgefäße besteht, in welches der Apparat versenkt wird, in welchem die Verbrennung der Substanz sich vollzieht. Dieses Kalorimeter wird meist noch mit besonderen Schutzeinrichtungen gegen den Einfluß der Temperatur der umgebenden Luft und der Bestrahlung versehen. Man verwendet hierzu z. B. große doppelwandige Gefäße mit Wasserfüllung, in denen das Kalorimeter luftisoliert steht. Gemessen wird die Wärme zumeist durch die Temperaturerhöhung des Wassers.

Das Kalorimeter wird außerdem mit einer Mischeinrichtung für das Wasser versehen, deren technische Ausführung sehr verschieden ist.

Bei der Erwärmung des Wassers nehmen auch andere feste Teile etwas von der Wärme auf, also der Metallbehälter des Wassers, der eigentliche Verbrennungsapparat selbst, der Mischer usw., kurz alles, was eben mit dem Wasser in Berührung steht. Wie viel Wärme diese festen Teile aufnehmen, das muß besonders bestimmt werden, man nennt das die Wasserwertsbestimmung. Sie ist sehr einfach, wo es sich um Körper handelt, deren spezifische Wärme bekannt ist; im Bedarfsfalle muß solch eine Bestimmung

der spezifischen Wärme besonders ausgeführt werden. Auf die Einzelausführungen kommen wir bei den betreffenden Kalorimetern zurück.

Die Thermometer für kalorimetrische Zwecke der Bestimmung der Verbrennungswärme brauchen keine sehr ausgedehnte Skala zu besitzen, da Wärmeunterschiede von 3 bis 4 Graden nicht überschritten werden. Quecksilberthermometer sind vollkommen zureichend, die Experimente werden alle bei mittlerer Temperatur, etwa 18—20°, ausgeführt, so daß das Gesamttemperaturintervall eines Thermometers von 16—24° genügend erscheint.

Longuinine[1]) empfiehlt das Thermometer so einzurichten, daß auch der Nullpunkt abgelesen werden kann. Dann muß oberhalb desselben eine Ausbuchtung vorhanden sein, welche das Quecksilber für die außer Betracht liegende Temperaturgrenze 0—16° aufnehmen kann. Die Teilung eines Grades in $^1/_{50}$ ist die vorteilhafteste, wobei man bei Lupen- oder Fernrohrablesung leicht Unterabteilungen schätzen kann. Jedes Thermometer muß natürlich für die 24° überschreitenden Wärmen eine Schutzkammer zur Ausdehnung des Quecksilbers besitzen. Die Cuvette des Thermometers soll dünnwandig sein, um das Instrument empfindlich zu machen. Soweit das Thermometer in die Flüssigkeit des Kalorimeters eintaucht, nimmt es auch bei der Erwärmung Wärme in Anspruch, die gemessen werden muß; diese Größe, der sogenannte Wasserwert, entspricht der spezifischen Wärme der Substanzen $\times$ ihrem Gewicht, am leichtesten ist der Wasserwert zu bestimmen, wenn der Glasbläser bei der Konstruktion auf die einzelnen hier in Betracht kommenden Teile achtet und die Quecksilbermaße, die Glasmaße der Cuvette und des ganzen übrigen Rohres angeben kann.

Der Wasserwert wird dann

für das Quecksilber (b) . . . . $= b\ g \times 0{,}0324$

für das Cuvettenglas (c). . . . . $= c\ g \times 0{,}094$

für das Rohr, das eintaucht bei einer Länge von l und dem Gewicht a, und der eintauchenden Strecke n. . . . . $= \frac{a \cdot l}{n}\ g \times 0{,}094.$

Die Thermometer werden am einfachsten mit anderen sorgfältig geeichten Instrumenten verglichen, Korrektionen für den außerhalb des Wassers befindlichen Quecksilberfaden sind als unwesentlich beiseite zu lassen. Für feinste Beobachtung wird nicht mit freiem Auge, sondern mit dem Fernrohr die Temperatur abgelesen.

Zu den unentbehrlichsten Voraussetzungen gehört weiter eine genaue Zeitmessung durch eine Sekundenuhr.

Als Wärmeeinheit wurde lange Zeit Regnaults Kalorie gebraucht, d. h. als Kgkal. die Wärmemenge, welche 1 Kilo Wasser von 0° auf 1° erwärmt, und als Gkal. die entsprechenden Werte der Erwärmung von 1 g Wasser von 0° auf 1°. Häufiger wird jetzt die Kalorie für 15° (= Kal_{15} bezeichnet) zugrunde gelegt; auf Regnaults Kalorie umgerechnet müssen die Werte mit 1,008 multipliziert werden.[2])

1) Longuinine, Bestimmung der Verbrennungswärme. Berlin 1897, s. auch Longuinine et A. Schukarew, Méthodes de Calorimetrie, Paris 1908.

2) Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik 1910 S. 188. 1 $gkal_{15} = 4.19 \cdot 10^7$ (CGS = 4.19 Wattsekunden).

Bei Longuinine (l. c. p. 19) finden sich die Werte der Kgkal. wie folgt angegeben für

$18^0 = 0{,}9995$
$20^0 = 0{,}99925$
$22^0 = 0{,}99915$
$25^0 = 0{,}99930$

Innerhalb dieser Grenzen dürften die meisten Experimente ausgeführt werden. Die Anwendung elektrischer Einheiten hat sich bis heute noch nicht einbürgern können, würde auch für physiologische Zwecke nur unbequem und kaum empfehlenswert sein.

Vorbereitung der Substanzen für die Verbrennung.

Die Substanzen können fast ausnahmslos nur im völlig wasserfreien Zustand zur Verbrennung benutzt werden; über die Methode der Trocknung allgemeiner zu sprechen, ist hier nicht der Platz. Zweifellos spielt aber das ungleich ausgeführte Trocknen sehr in die Resultate der verschiedenen Experimentatoren hinein; viele der Materialien geben Wasser schwer ab, andere zerlegen sich in der Wärme, es kann also zu kurz getrocknet werden und Wasser zurückbleiben, oder zu lange, so daß fortwährend kleine Mengen organischer Substanz flüchtig gehen. Es wäre sehr erwünscht, wenn auf Fehler der letzteren Art durch genaue Untersuchungen mehr Rücksicht genommen würde. Die Trocknung bei niedriger Temperatur im Vakuum könnte häufiger angewandt werden, als es geschieht. Angaben über die Art der Trocknung sind sehr notwendig, wenn es sich um die Vergleichung der Resultate verschiedener Beobachter handelt.

Für manche Methoden der Verbrennung muß eine teilweise Entfettung der Substanzen vorausgehen (s. später). Die Ätherextrakte dürfen kalorimetrisch nie von vorne herein und allgemein als „Fette“ betrachtet werden, sondern es ist meist ihre spezielle Analyse der Verbrennung vorzunehmen.

Schwierigkeiten begegnen wir bei der Eintrocknung der Abfallstoffe, wie des Harnes und des Kotes. Werden sie ohne besondere Vorsichtsmaßregeln getrocknet, so tritt eine Zerlegung ein, in dem entweder N-haltige Verbindungen wie Ammoniak zu Verlust gehen, oder auch wie beim Kote, wenn er sauer ist, flüchtige Fettsäuren verloren werden.

Wenn man den Harn bei hoher Temperatur abdampft, können bis 10% des Harnstoffs zerlegt werden; man muß das flüchtige Ammoniak stets in einer Vorlage auffangen und für sich in Rechnung stellen, den trockenen Rückstand unterwirft man der Verbrennung. Bequemer ist der Zusatz von Oxalsäure, welche an sich wenig Verbrennungswärme liefert, also keine erhebliche Korrektur einführt und, zumal ihre Reinheit leicht sicher zu stellen ist, keine Fehler bedingt. Verfügt man über einen Vakuumapparat, so kann man den Harn, wie er ist, leicht und schnell zur Verdunstung (bei 25^0) bringen und in einer mit Schwefelsäure beschickten Vorlage die kleinen Mengen von NH_3, welche abdunsten, bestimmen und deren bekannte Verbrennungsgröße zum Gesamtresultat addieren. Unbedenklich scheint auch hier die Zugabe von etwas Oxalsäure oder Weinsäure, wodurch sich das Auffangen des Ammoniaks erübrigen würde.[1])

1) Rubner, Gesetze des Energieverbrauchs 1902 S. 29. Krummacher, Zeitschr. f. Biol. XLII, S. 246.

Das früher von Kellner empfohlene Eindicken des Harns auf Filtrierpapierzylindern dürfte entbehrlich sein, weil die Vakuumtrocknung an sich sehr einfach ist. Auch der Kot kann im Vakuumapparat bei alkalischer Reaktion unter Zugabe kleiner Mengen Oxalsäure getrocknet werden; vorherige teilweise Entfettung ist für manche Methoden unbedingt erforderlich. Die Ätherextrakte sind abzudampfen und für sich zu verbrennen.

Die Angaben der Verbrennungswärme für aschefreie Substanz, wie sie vielfach berechnet wird, hängen ganz von der Art der Aschebestimmung ab, die zweifellos sehr ungleich ausgeführt wird. Je nach den in einzelnen Laboratorien geübten Verfahren dürften Differenzen bis 10 % der Asche nicht auszuschließen sein; bei aschereichen Substanzen kann daher die auf aschefreie Substanz berechnete Verbrennungswärme recht wohl merklich beeinflußt werden.

Die Chloratmethode.

Das chlorsaure Kali war in den Anfängen der organischen Chemie zu Bestimmungen der organischen Substanzen verwandt worden, aber allmählich in Vergessenheit geraten. Lewis Thompson hat es zur Bestimmung von Verbrennungswärmen wieder herangezogen, indem er die organischen Substanzen mit einem Satze von chlorsaurem Kali und etwas Braunstein verbrannte und die dabei auftretende Wärme an Wasser übertrug. Frankland hat die Methode[1]) zum ersten Mal zur Untersuchung auch solcher Körper, welche physiologisches Interesse haben, benutzt. Der Apparat bestand damals (Fig. 1) aus einer kupfernen Taucherglocke (C), in welche man von unten in einer Art Patrone (a) die Mischung der Substanz mit chlorsaurem Kali (und Braunstein) brachte, zugleich mit einem Zündfaden.

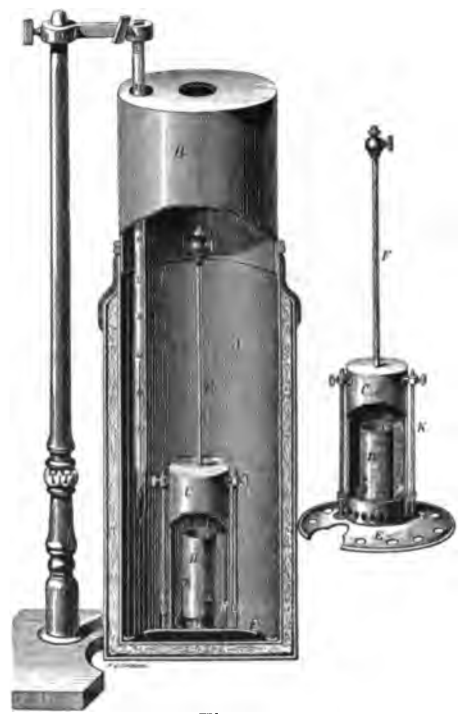


Fig. 1.

Zu diesem Zweck kann der Boden der Taucherglocke, die zugleich als Mischer ausgestaltet ist, abgenommen und das Gefäß mit der Substanz wie eine Kerze auf einen Leuchter eingesetzt und dann mittels Bajonettverschlusses schnell, nachdem der Zündfaden angebrannt ist, eingefügt und unter Wasser getaucht werden.

Kurz darauf erfolgt die Zündung, die Gase gehen durch die Öffnungen

[1]) Philos. Mag. XXXII S. 182.

des Bodenstücks (E) und streichen aufwärtsquirlend durch das Wasser unter Entwicklung von Chlorkaliumdämpfen oder auch Dämpfen der Untersalpetersäure. Man hat dann zu mischen, damit die Wärme sich verteilt und das aus chlorsaurem Kali entstandene Chlorkalium sich auflöst, der Hahn der Taucherglocke wird geöffnet, damit das Wasser eindringen und das Chlorkalium lösen kann.

Die Menge der Wärme berechnet sich aus dem Wasserwert des Kalorimeters (Wasser und Metallteile, Thermometer), sie wird zu groß gefunden, da sich chlorsaures Kali (13,3 g) zu Chlorkalium unter Wärmeentwicklung zersetzt und die Zündschnur einige Kalorien liefert.

Diese Korrektionszahl für die Zersetzungswärme des chlorsauren Kalis beträgt 580 gkal., wozu ein paar Kalorien der Zündschnur kommen; dieser Wert muß vom Endresultat abgezogen werden.

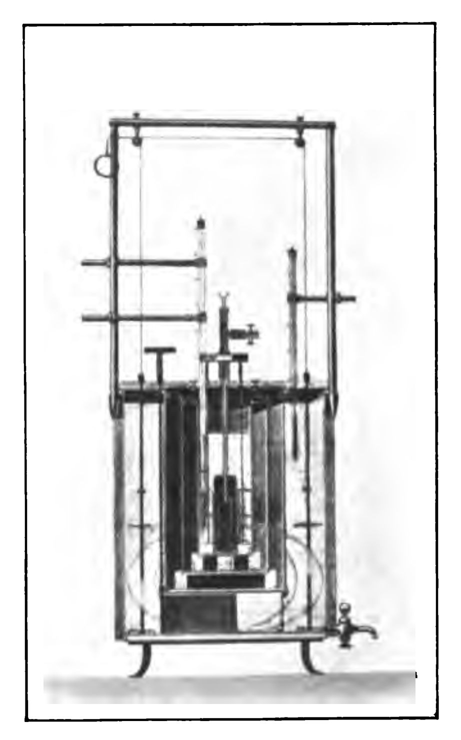


Fig. 2.

Franklands Zahlen waren zum Teil sehr fehlerhaft, weil die Taucherglocke durch die sauren Dämpfe angegriffen wird und Kupfersalz zur Lösung kam. Die Teile müssen ganz aus Platin hergestellt werden.

Die Verbrennungspatrone aus Platin ist unten durchlöchert, damit das Chlorkalium aufgelöst werden kann; vor dem Versuch mußten die Löcher mit Seidenpapier verklebt werden, damit die Substanz nicht herausfiel. Ich habe an Stelle dieser Platinpatrone dünnwandige Glasröhrchen genommen, welche bei der Verbrennung schmolzen und beim Nachdringen des Kalorimeterwassers zersprangen und so eine vollkommene schnelle Lösung der Chlorkaliumschmelze erzielen ließen, was für die Genauigkeit der Messungen wesentlich ist.

Das Kalorimeter wird nach Stohmanns Vorschlag in ein zylindrisches doppelwandiges Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist, gestellt, wie dies Fig. 2 zur Anschauung bringt. Hier befindet sich durch Ebonitklötzchen isoliert ein zylindrisches Metallgefäß und wieder durch Luft und isolierende Klötzchen vom Metallgefäß geschieden das eigentliche Kalorimeter.

Betreffs der Technik der Verbrennung mag noch folgendes angeführt werden. Körper, die reich an N sind, können nicht direkt verbrannt werden, weil sich zu viel Oxydationsprodukte des N bilden, dagegen verläuft die Verbrennung unter Zugabe von Stearinsäure oder Naphtalin gut.

Näheres s. bei Stohmann, Landwirtschaftl. Jahrbücher XIII, S. 513 u. Rubner. Zeit. f. Biol. XXI 1885, S. 250.

Bei jeder Verbrennung entsteht etwas Salpetersäure und salpeterige Säure, nicht unwesentlich trotz Stearinsäurezusatz bei Substanzen wie Harnstoff oder Harnsäure. In diesen Fällen habe ich das Kalorimeterwasser konzentriert und mittels der Schlösingschen (Schultzeschen) Methode durch Erhitzen bei Gegenwart von Eisenchlorid und Salzsäure, die Nitrate und Nitrite als Stickoxyd bestimmt und in Rechnung gestellt.[1])

Die Chloratmethode erfordert Vorversuche über den besten Verbrennungsverlauf (bei N-haltigen Körpern auch betreffs der Zusätze, z. B. von Naphtalin oder Stearinsäure). Die Regulierung der Verbrennungsgeschwindigkeit wird durch Beigabe gepulverten Bimssteins vorgenommen, je mehr zugesetzt wird, um so langsamer verbrennt die Substanz. Als Zündstoff wurde meist ein Baumwollfaden, der in chlorsaure Kalilösung getaucht und getrocknet war, benutzt, oder auch elektrische Zündung.

Bei zu schneller Verbrennung verflüchtigt etwas Chlorkalium, dessen Dämpfe man wahrnimmt. Um sicher zu sein, daß die Verbrennungsmischung gut abgebrannt ist und alles Chlorkalium gelöst ist, wurde am Ende der Versuch einer Chlortitrierung des Wassers vorgenommen.

Am Ende des Versuchs muß die bei der Verbrennung entstandene Schmelze des Chlorkaliums vollständig aufgelöst sein, weil hierdurch Wärmebindung erfolgt und dieser Vorgang in allen Experimenten gleich verlaufen muß.

Die Chloratmethode versagt bei den für physiologische Zwecke nötigen Verbrennungen auch bei den sehr schwierig zu verbrennenden Substanzen nicht. Es ist durchaus unberechtigt, diese Methodik für weniger leistungsfähig zu halten als die jetzt gebräuchlichen, ja nicht ausgeschlossen, daß man auf sie wieder zurückgreifen wird.[2])

Die Berthelotsche Bombe.

Berthelot ist dazu übergegangen, die Verbrennung nicht bei gewöhnlichem Druck vorzunehmen, sondern hat Sauerstoff unter hohem Druck angewandt (1881). Da unter solchen Bedingungen die Substanzen zumeist sehr glatt verbrennen, hat sich die Methode alsbald weit verbreitet. Die Methode[3]) ist erst viele Jahre nach ihrer ersten Beschreibung in Gebrauch gekommen, da die Kosten der Anschaffung des Kalorimeters außerordentlich hohe waren; seitdem billigere Instrumente im Handel vorkommen, hat sich ihr Gebrauch sehr verallgemeinert und wegen der großen Handlichkeit die Chloratmethode verdrängt.

Die Einrichtung des Berthelotschen Verbrennungsgerätes ist folgende: Zur Aufnahme der Kalorimeterteile dient ein doppelwandiges kupfernes, im Versuchsfall durch eine Ebonitplatte oben abzudeckendes, mit Wasser gefülltes Gefäß, auf welchem die Rührvorrichtung und der Halter für das Thermometer montiert sind. In seinem Hohlraum steht auf drei Isolierklötzchen das aus Messingblech hergestellte versilberte Kalorimeter, in dem Kalorimeter die Bombe. Um die Bombe bewegt sich durch ein Triebwerk, mit der Hand in Bewegung gesetzt, der Mischer, gleichfalls versilbert.

1) l. c. S. 285.
2) s. auch Longuinine, Bestimmung der Verbrennungswärme, Berlin 1877, S. 59.
3) Annal. Chim. [6] 6. 546, 10. 433, 13. 289.

Die Bombe von nebenstehender Form (Fig. 3), durch schwere Gewinde mit einem großen Schlüssel, der bedeutende Hebelarme besitzt, um Kraft anwenden zu können, mittels eines Deckstückes verschließbar, enthält die Substanz und Sauerstoff, letzteren auf 24 Atmosphären komprimiert. Sie ist aus Stahl, außen vernickelt. Im Innern ist sie mit Platin ausgekleidet und faßt



Fig. 3.

etwa 290 ccm = 10 g Sauerstoff. Mehr als 3 g Sauerstoff dürfen aber für die Verbrennung nicht beansprucht werden.

Für die Bombe kann der heutzutage überall käufliche komprimierte Sauerstoff, den man unter Beobachtung von Manometern in die Verbrennungsbombe überströmen läßt, nachdem die festschließenden Hähne der Berthelotbombe geöffnet sind, Verwendung finden.

In der Bombe (Fig. 4) befindet sich ein Platinstab, vom Deckel ausgehend, als Träger für ein Platinschälchen (F), in welchem die zu verbrennende Substanz ruht, er durchsetzt elektrisch isoliert den Deckel und kann durch eine kleine

Schraube mit dem Pol eines Akkumulators oder einer Batterie in Verbindung gebracht werden. Ein zweiter Platinstift ragt parallel dem andern vom Deckel in die Bombe.

Die Substanz, welche verbrannt werden soll, wird zuerst getrocknet, dann in eine Pastillenpresse (Fig. 5) gebracht, ein feiner Eisendraht durchgelegt und zu einer Art zylindrischer Briketts geformt. Man wägt zuerst die Substanz, ehe man sie preßt, annähernd, d. h. man wählt soviel, als hinreicht, um nicht mehr als $^1/_3$ des in der Bombe befindlichen Sauerstoffs durch die Verbrennung in Anspruch zu nehmen. Der Eisendraht der Pastille wird um die

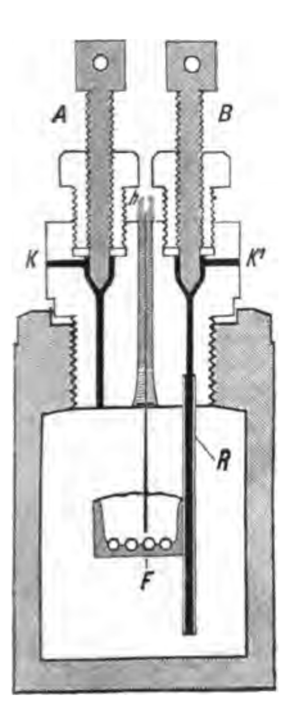
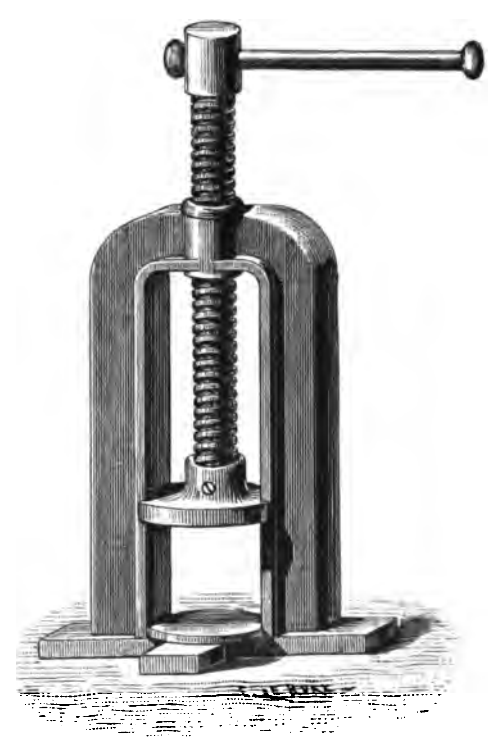


Fig. 4.


Fig. 5.

beiden oben benannten Platindrähte gewickelt und dient zur Entzündung der Substanz, die im Platinschälchen (F) ruht. 1 m Eisendraht wiegt 0,114 g, 5 cm = 0,0057 g genügen für eine Verbrennung. 1 g Eisen verbrennend, liefert Eisenoxyduloxyd = 1601 gcal. oder 9,1 gcal. für die verwendete Drahtmenge einer Pastille. Die Zündung erfolgt in dem Augenblick, in welchem der Gasabflußhahn auf dem Deckel der Bombe mit dem zweiten Pol der Batterie oder des Akkumulators berührt wird.

Nach dem Versuch nimmt man die Bombe aus dem Wasser heraus, läßt durch Lüften des eben genannten Gasabflußhahnes die Verbrennungsgase und den restierenden Sauerstoff entweichen und kann dann die Bombe öffnen, worauf man die Asche in dem Platinschälchen finden wird.

Für die Vorbereitung der zu verbrennenden Substanz ist noch zu sagen

daß viele tierische und pflanzliche Substanzen nicht direkt verbrannt werden können, weil sie stark fetthaltig sind. Beim Pressen kann dann Fett abgepreßt werden und die Pastille enthält weniger Fett, als der Wirklichkeit und der chemischen Analyse entspricht. Solche Fehler können sehr leicht vorkommen, zur Vorsicht wird man deshalb unter Umständen mindetens einen Teil des Fettes entrahieren und fettarme Substanz und Fett getrennt verbrennen.

Manche Substanzen brennen schlecht an, dann preßt man auf die obere Schicht (der dann genau zu wiegenden Substanz) eine Lage Zucker oder etwas Naphtalin, deren Menge genau bekannt sein muß.

Gerade bei Organen der Tiere, die reich an Asche sind, kann es vorkommen, daß man auf dem Boden der Bombe kleine Mengen unverbrannter Substanz findet, die weggeschleudert wurden, ehe sie verbrennen konnten, darauf ist Rücksicht zu nehmen.

Ein großer Vorteil ist es, daß in der Bombe der Akt der Verbrennung ungemein rasch und die Abgabe der Wärme an das Kalorimeterwasser schnell erfolgt, daher sind die Korrektionen der Beobachtung sehr einfach und gering. Man richtet das Kalorimeterwasser in seiner Temperatur so vor, daß es etwas unter der Lufttemperatur, d. h. unter der Temperatur der Umgebung bleibt, stellt die gefüllte Bombe in das Wasser, wartet unter fortwährendem Mischen einige Minuten (4—5), bis der erste Ausgleich der Temperatur erfolgt ist, liest weitere 4 Minuten den Gang der Temperatur ab und bildet das Mittel des Anstiegs (der gleichmäßig sein muß), und zündet dann die Mischung. Sofort steigt die Temperatur, die nach einigen Minuten einen Höhepunkt erreicht und unter den gegebenen Voraussetzungen gleichmäßig zu sinken beginnt. Man beobachtet 5 Minuten dieses gleichmäßigen Abfalls.

Die Temperatur zu Beginn der Zündung erfährt man, wenn man zur letzten Ablesung vor der Zündung die gefundene Korrektion (für 1 Min.) hinzufügt. Das Kalorimeter erreicht durch die Verbrennung nicht den maximalsten Hochstand, denn es hat während des Anstiegs Wärme verloren. Die Beobachtung nach der Verbrennung gibt die Korrektion, die für so viele Minuten hinzuzurechnen ist, als es dauerte, bis der Höchststand der Erwärmung erreicht wurde. Die Differenz dieser Werte $\times$ dem Wasserwerte des Kalorimeters gibt die Anzahl der Kalorien. Während des ganzen beschriebenen Verbrennungsaktes muß das Rührwerk in gleichmäßiger, kräftiger Bewegung gehalten werden. In zwei Minuten sind schon 99 % der Wärme von der Bombe an das Wasser übertragen.

Die wichtigste Vorarbeit bei Benutzung der Bombe besteht in der Feststellung des Wasserwertes derselben; hierzu kann man durch Berechnung der einzelnen verwendeten Materialien gelangen (der Masse des Stahles, des Platins, Messings der Bombe und des Kalorimeters, des Thermometers, des Wassers, des Sauerstoffs, der Teile des Mischers). Diese Methode setzt, wenn sie wirklich grundlegende Zahlen ergeben soll, voraus, daß man für die spezifischen Wärmen der Metallteile nicht mit beliebigen Mittelzahlen, sondern nach direkten Versuchen über die spezifische Wärme des verwendeten Materials rechnet. Es muß also letztere z. B. an einer Stahlmasse bestimmt werden, aus der die Bombe selbst hergestellt worden war.

Der Wasserwert des Apparats kann aber auch in einer leicht ausführbaren Weise so bestimmt werden, daß man von einer Substanz verschiedene Ver-

brennungen macht, indem man wechselnde Mengen, die um das zweifache oder dreifache verschieden sind, unter Variation der Menge des Kalorimeterwassers anwendet. Man erhält dann mehrere Gleichungen, aus denen der Wasserwert ableitbar ist. Ist K der Wasserwert des Kalorimetergefäßes und des Mischers, des Thermometers usw. und M und M' das Gewicht des Wassers, p und p' das Gewicht der verbrannten Substanz, t und t' die entsprechenden Temperaturerhöhungen bei der Verbrennung und X der Wert der Bombe, so ist die Wärmemenge

beim ersten Versuch $(M + K + X)\,t$
beim zweiten Versuch $(M' + K + X)\,t'$

und diese beiden Werte verhalten sich zueinander wie die angewandten Gewichte, also

$$\frac{(M + K + X)\,t}{(M' + K + X)\,t'} = \frac{p}{p'},$$

woraus K + X oder X bestimmt werden kann. Endlich kann man auch zur Bestimmung des Wasserwertes von der Verbrennung einer Substanz mit genau bekannter Verbrennungswärme ausgehen und berechnen, welche Wasserwerte zugrunde gelegt werden müssen, um die bekannte Verbrennungswärme zu erhalten.

Gewöhnlich benutzt man für solche Versuche Naphtalin als Testsubstanz (1 g = 9628 gkal. nach Stohmann, 9694 nach Berthelot und Vieille). Die Methode ist für alle physiologischen Aufgaben völlig ausreichend[1]).

Neuerdings hat man auch eine Eichung der Bombe zur Bestimmung des Wasserwertes mittels des elektrischen Stromes vorgenommen, die sehr exakte Resultate gibt[2]). Wrede fand mit einem solchen Instrumente für reines Naphtalin 9667,8 gkal. p. 1 g, für Rohrzucker 3961,7 gkal., was für die oben angeführte Wasserwertbestimmung von Belang sein kann.

Bei jeder Verbrennung wird durch Oxydation des Stickstoffs der Bombenluft etwas Salpetersäure gebildet. Man erfährt diese Größe, wenn keine andere Säure sich gebildet hat, aus einer Titration des im Kalorimeter niedergeschlagenen Wassers, das man ausspült und mittels Sodalösung (3,706 g CO_3Na_2 pro Liter) unter Zugabe von Methylorange titriert; 1 ccm einer solchen Sodalösung ist 1 gkal. entsprechend[3]).

Es sind für die Ausführung von Verbrennungsbestimmungen noch einige Bemerkungen anzufügen. Beim Verbrennen schwefelhaltiger Körper kann leicht eine Mischung von Kohlensäure, Kohlenoxyd, Schwefelsäure und schwefliger Säure entstehen. Um dies zu verhüten, gibt man in die Bombe 10—15 ccm Wasser (was bei dem Wasserwert in Rechnung zu stellen ist), der gesamte Schwefel der Substanz findet sich dann als gelöste Schwefelsäure und sonst nur Kohlensäure, kein Kohlenoxyd. Man titriert wie gewöhnlich dieses Wasser mit Soda, fällt die Schwefelsäure mit Chlorbaryum und zieht den auf sie treffenden Säureanteil von der Gesamtazidität ab, worauf die

1) s. auch Longuinine l. c. p. 63.
2) Berichte der deutschen physikal. Gesellschaft v. 23. Jan. 1903 und Franz Wrede, Inauguraldiss., Berlin 1903, Emil Fischer und Franz Wrede, Sitzungsber. d. Kgl. preuß. Akademie XX v. 14. April 1904.
3) Stohmann, Journ. f. prakt. Chemie [2] Bd. 39 S. 522.

Salpetersäurekorrektion gemacht werden kann. Letztere scheint übrigens mit dem Stickstoffreichtum der verbrannten Substanz allein nicht im Zusammenhang zu stehen.

Wird Asche aus dem Verbrennungsschälchen herausgeschleudert, so wird die Genauigkeit der Schwefelsäurebestimmung und Nitrattitrierung in Frage gestellt [1]).

Über die Einrichtung von Verbrennungsversuchen für Chlor enthaltende Stoffe s. bei Longuinine l. c. p. 96. Die Besprechung dieser Verhältnisse kann als für die meisten Anwendungen des Kalorimeters für die hier in Frage stehenden Zwecke vernachlässigt werden.

Die Wärmemengen, welche beim Verbrennen einer Substanz in Sauerstoff bei konstantem Atmosphärendruck erhalten werden, und jene, die man in der Berthelotschen Bombe erhält, bei konstantem Volum sind nicht völlig gleich.

Nennt man die Werte für konstanten Druck = D und jene für konstantes Volumen = V, so ergibt sich folgende Beziehung

$$D = V + \left(\frac{H}{2} - O\right) 0{,}291,$$

worin H die Zahl der Wasserstoffatome, O die Zahl der Sauerstoffatome im Molekül und 0,291 eine für 18° gültige Konstante ist [2]).

Bei allen Körpern, welche im Molekül auf je 2 Wasserstoffatome 1 Sauerstoffatom enthalten, ist die Verbrennungswärme bei konstantem Volumen und konstantem Druck gleich. Bei allen Körpern, welche im Molekül mehr Wasserstoffmoleküle enthalten, als der Sauerstoff zur Bildung von Wasser beansprucht, ist die Verbrennungswärme bei konstantem Druck größer, als bei konstantem Volumen, bei allen Körpern, die mehr Sauerstoffatome enthalten, als dem Wasserstoff entspricht, ist die Verbrennungswärme bei konstantem Druck geringer als bei konstantem Volumen. Die Unterschiede sind übrigens meist nicht erheblich.

Im Falle, daß eine Substanz von unbekanntem Molekulargewicht bei Mischungen verbrannt wird, wie dies bei physiologischen Aufgaben die Regel ist, bietet zwar die Berechnung auch keine Schwierigkeiten, denn es ist nur zu bestimmen das bei der Verbrennung nötige Sauerstoffvolumen (nach der Elementaranalyse) und das dabei erzeugte Kohlensäurevolumen und das Stickstoffvolumen. Der Vergleich dieser auf 0° und 760 mm Druck reduzierten Volume mit dem von einem Molekel (22,33 l) Gas eingenommenen Volumen, ergibt die Unterlage für die Bestimmung des [3]) gesuchten Werts.

Da aber tatsächlich die Größe solcher Berechnungen pro 1 g Substanz den Wert von 2 bis 4 gkal. nicht übersteigt, so kann man wohl für alle uns zurzeit interessierenden Fragen biologischer Natur auf diese Korrektionen verzichten [4]).

An Stelle der teueren Apparate von Berthelot werden in neuerer Zeit

1) Weiteres findet sich bei Langbein, Zeitschr. f. angew. Chemie 1900, Heft 49 u. 50 und Krummacher Zeitschr. f. Biol. 1904 XLV, p. 319.

2) Berthelot, Essay de Mechanique chimique 1, p. 115 und Ostwald, Allgemeine Chemie 2, p. 292.

3) Longuinine l. c. p. 33.

4) Stohmann u. Langbein, Journal f. prakt. Chemie [2] Bd. 44 S. 344.

die vereinfachten Apparate von Mahler, Kröker usw. vertrieben (Fig. 6), welche für die meisten kalorimetrischen Aufgaben auch genügen dürften. Der Sauerstoffdruck wird durch Zuleitung aus dem Behälter O und unter Kontrolle des Manometers M auf 15 Atmosphären gebracht, statt Platin ist eine Emailauskleidung vorhanden, der kupferne doppelwandige Zylinder zur Wärmeisolierung A ist bei den einfachsten Instrumenten durch ein Holzgefäß ersetzt. Solche Systeme dieser Bomben, bei denen diese tunlichst viel mit ihren Teilen unter Wasser tauchen, sind anderen Konstruktionen vorzuziehen. Im übrigen ist die Ausführung des Experiments wie oben für die Berthelot-Bombe beschrieben.

Bei Organen des Tierleibes und Abfallstoffen findet man fast immer ein Herausschleudern glühender Asche, welche allmählich den Emailbelag, besonders am Boden der Bombe angreift. Nach meinen Erfahrungen genügt das Einlegen einer Porzellanscheibe (Tiegeldeckel mit beseitigter Öse, Wasser-

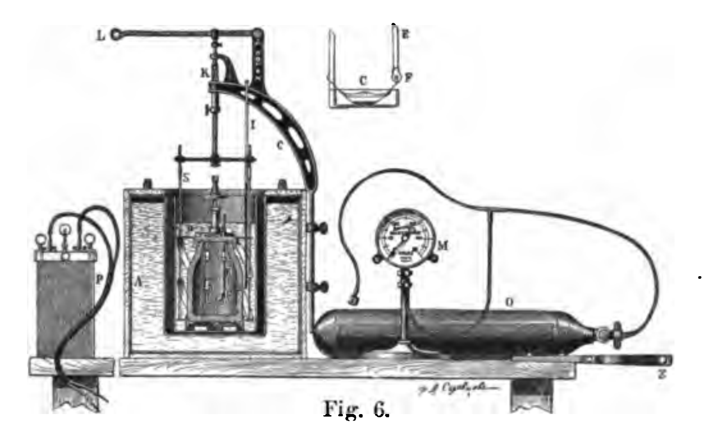


Fig. 6.

wert derselben ist in Rechnung zu stellen), um die Zerstörung des Emails zu hindern.

Bei Anwendung der kalorimetrischen Bombe zur Bestimmung der Verbrennungswerte für die Aufgaben des Energiewechsels kann man es meist mit der Feststellung zweier Analysen bewenden lassen und es können dazu auch die einfachen Bomben (wie die von Mahler z. B.) ganz wohl genügen.

Anders liegt die Sache dort, wo die thermischen Angaben zu Berechnungen von thermochemischen Gleichungen benutzt werden sollen und wo auf sehr feinen Unterschieden der Messungen schon die Entscheidung ruht. Hierher gehören eine Reihe von Fragen der Fermentwirkung und der dabei verlaufenden Wärmetönung. Auf dem gedachten Gebiete haben wir die Erfahrung machen können, daß die zahlenmäßigen Angaben nicht nur über die Größe, sondern selbst sogar über die Art der Wärmetönung (positiv oder negativ) bei verschiedenem Beobachten verschieden ausfallen.

Thermische Prozesse dieser Art sind im Verhältnis zur Verbrennungswärme der in Aktion tretenden Substanzen überhaupt sehr klein, so daß also an die Genauigkeit der Methodik große Anforderungen gestellt werden, sie findet natürlich auch ihre Grenzen.

Es ist daher vorteilhafter, statt der indirekten Bestimmung solcher fermentativen Wärmetönungen direkte Wärmemessungen auszuführen, ich verweise wegen der hierfür nötigen Methodik auf den Abschnitt Mikrokalorimetrie.

Verbrennung mit unterbromigsauren Salzen.

Verfasser hat zur Kontrolle der Verbrennungswärme solcher Stoffe, die wie der Harnstoff früher manche Schwierigkeiten bereiteten, die Zerlegung dieses Körpers mit Bromlauge in wässriger Lösung benutzt[1]).

Die Ausführung ist an sich einfach, erfordert aber eine Reihe von besonderen Vorsichtsmaßregeln, welche (l. c.) näher geschildert sind. Wenn man beachtet, daß nicht aller Harnstoff zerlegt wird, und die gefundene Wärme also nur auf den wirklich verbrannten Harnstoff sich bezieht, stimmen die Ergebnisse dieser Art der Verbrennung mit den anderweitig erhaltenen Zahlen gut überein.

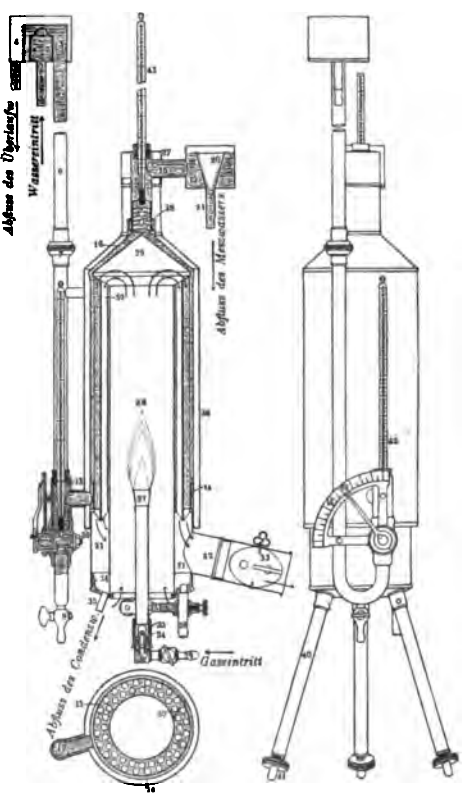


Fig. 7.

Verbrennungswärme von Gasen.

Die Bestimmung der Verbrennungswärme von Gasen kommt wohl nur selten für physiologische Zwecke in Frage, da man die verbrennlichen Darmgase beim Menschen und den meisten Tieren außer Betracht lassen kann, auch ihre Sammlung in ausreichenden Portionen nicht überall gelingt. Allenfalls könnte bei größeren Tieren mit entwickeltem Blinddarm eine solche Analyse gewünscht werden.

Ferner kommen Wasserstoff oder Leuchtgas vielleicht für Eichungen eines Tierkalorimeters in Betracht, auch nur ausnahmsweise, denn man wird solche Eichungen besser mit warmem Wasser oder auf elektrischem Wege vornehmen als durch Verbrennung von Wasserstoff.

Für die Bestimmung der Verbrennungswärme von Gasen kann ein Eiskalorimeter benutzt werden, wie es Schuller und Wartha und v. Than für den vorliegenden Zweck eingerichtet haben[2]). (Über die Konstruktion dieses s. später S. 170.)

1) Zeitschr. f. Biol. 1884 u. 1885 XXI, p. 273, Sitzungsber. d. bayr. Akadmie v. 5. Juli 1884.

2) Schuller u. Wartha in Wiedemanns Anal. 1877 II, p. 359 und v. Than in Wiedemanns Anal. XIII; s. auch bei Longuinine p. 105 u. 108.

Verfügt man über größere Gasmengen, so eignet sich für die Verbrennungswärmebestimmung der Gase das Junckersche Kalorimeter (Fig. 7).

Das Instrument läßt das in einer Gasuhr gemessene Gas durch einen Brenner in den hohen zylinderförmigen Raum des Kalorimeters treten. Die Verbrennungsgase steigen auf (siehe die Pfeilrichtung) und gelangen in Röhren, die durch den Wassermantel hindurchgelegt sind. Da die abgekühlten Gase schwerer sind als Luft, strömen sie unten bei 32 aus. Hier kann man das Abfließen der Gase durch eine Klappe 33 regulieren. Der kondensierte Wasserdampf kann gesammelt werden (35).

Durch den Mantel strömt Wasser, das von einem kleinen Reservoir mit Überlauf stammt und bei 13 unten eintritt, oben ist der Abstrom des Wassers, an der Eintritt- und Austrittsstelle des Wasserstromes am Kalorimeter je ein Thermometer, die Temperaturzunahme läßt sich also leicht feststellen. An einer Skala (10) kann man die Stellung des Wasserhahnes genau ablesen. Die Wassermenge des Ablaufs wird mittels eines Meßzylinders gemessen. Man wählt solche Wassermengen, daß der Temperaturunterschied der Thermometer nicht zu klein ist, was man durch Drehung des Wasserhahnes beliebig zu regulieren imstande ist. Man erhält die Verbrennungswärme mit großer Genauigkeit.

Die Produkte der Verbrennung bei dem kalorimetrischen Versuch und ihre Verwendung zur Elementaranalyse.

Bei einem tadellosen kalorimetrischen Versuch muß die organische Substanz in Kohlensäure und Wasser bezw. Kohlensäure, Wasser, N und Schwefelsäure (oder Phosphorsäure) aufgelöst werden. Bei unvollkommener Verbrennung entsteht auch Kohlenoxyd, das man beim Durchleiten der Verbrennungsgase durch Palladiumchlorür an dem bekannten schwarzen Niederschlag erkennen kann.

Die Produkte der Verbrennung können natürlich auch gewissermaßen zur „Elementaranalyse" einer Substanz verwendet werden. Dieser Gedanke ist zuerst für die Chloratmethode von Stohmann ausgeführt worden, indem er sich ein besonderes Metallgefäß herstellen ließ, in welchem er eine Verbrennung unter Wasser ausführte und die Gase direkt auffing[1]). Diese Methode scheint nicht allgemein bekannt geworden zu sein. Als die Berthelotsche Bombe in Aufnahme kam, wurde die Verwendung der Bombe zur Bestimmung der CO_2 und der H_2O neu empfohlen[2]). Die Bestimmung des Wassers mittels der Berthelotschen Bombe hatte man übrigens für die technische Analyse schon früher ausgeführt, weil bei Brennmaterialien die nutzbare Wärme um so größer ist, je weniger Wasserdampf gebildet wird. Um den Wasserdampf völlig zu erhalten, wird die Bombe in ein Ölbad gebracht (105°) und trockne Luft durchgesaugt. Vorbedingung ist in diesen Fällen, daß trockner Sauerstoff eingefüllt wurde oder daß der Gehalt des Sauerstoffs an Wasser in einem Kontrollversuch bestimmt wird.

Die Bestimmung der Kohlensäure läßt sich in verschiedener Weise

1) s. Rechenberg, Journ. f. prakt. Chemie 1879 und Rubner, Zeitschr. f. Biol. XXI, p. 271.

2) N. Zuntz, Ber. der chem. Gesellschaft XXX, p. 380.



z. B. mittels Durchleiten der Gase durch Barytwasser oder durch einen Kaliapparat usw. ausführen. Von der Bestimmung der Schwefelsäure war oben S. 163 die Rede. Sie hat unzweifelhaft den Vorzug, daß sie uns der Notwendigkeit überhebt, eine gesonderte Elementaranalyse auszuführen.

Versuche des Verfassers, die bisher nicht veröffentlicht sind, haben ergeben, daß man zur Bestimmung der Kohlensäure sich auch des gasanalytischen Verfahrens bedienen kann, indem man die Gase der Bombe durch ein Gefäß und dann durch eine Gasuhr treten läßt und den Gasrest des Gefäßes auf seinen %-Gehalt an CO_2 untersucht.

Anderweitige thermische Aufgaben.

a) Bestimmungen der spezifischen Wärme.

Insoweit es sich um die Benutzung rein physikalischer Konstanten handelt, sei auf die Zusammenstellung solcher bei Landolt und Börnstein[1]) verwiesen.



Fig. 8.

Es ergibt sich aber doch mitunter die Notwendigkeit, für physiologische Zwecke eigene Bestimmungen auszuführen, eine solche Aufgabe ist z. B. die Bestimmung der spezifischen Wärme des Körpers, als Unterlage für die Berechnung kalorimetrischer Versuche, bei denen der Organismus z. B. an Wärme zugenommen oder abgenommen hat.

Auch als Hilfsoperation für die Prüfung von Material zur Wasserwertbestimmung bei den Kalorimetern kann die Bestimmung notwendig sein.

Von den zahlreichen Modalitäten sollen nur jene besprochen werden, die den physiologischen Bedürfnissen am angepaßtesten sind. Hier kommt

1) Physikalisch-chemische Tabellen.

in erster Linie das Eiskalorimeter in Betracht, allerdings nicht in seiner ursprünglichen Form, sondern in der von Bunsen gegebenen Anordnung.

Das Eiskalorimeter (Fig. 8) besteht aus einem Glasgefäß, in welches eine reagenzglasartige Röhre eingeschmolzen ist. Am unteren Ende des Glasgefäßes ist ein enges Rohr, das U-förmig nach oben geht, angeschmolzen. Es trägt oben einen Hahnausschliff (darüber einen kleinen Ansatz zum Einguß), in welchen rechtwinklig ein fast meterlanges, in mm geteiltes Rohr, das in einen Glashahn endigt, so befestigt werden kann, daß der Hahn im Hahnschliff sich dreht.

Der ganze Glasapparat wird in ein Gefäß mit Eiswasser so eingesenkt, daß nur der Hals und der Hahnschliff herausragt. Das Gefäß ist zum großen Teil mit ausgekochtem destilliertem Wasser, zum kleinen Teil mit reinem Quecksilber gefüllt, so daß beim Einführen der Meßröhre in den Hahnschliff ein Quecksilberfaden in die letztere übertritt. Die Skala des Meßrohrs muß in seiner ganzen Länge genau durch allmähliches Vorrücken eines kleinen Quecksilberfadens auf seinen kubischen Inhalt geeicht sein.

Man läßt vor dem Gebrauch durch das Reagenzrohr einen Strom stark abgekühlten Alkohols durchfließen, so daß sich das Rohr mit einem schwachen Eismantel umgibt. Man nimmt den Alkohol weg, ersetzt ihn durch Wasser von 0° und wartet die Einstellung des Quecksilberfadens ab.

Noch einfacher ist es, wenn man ein dünnwandiges Probierrohr nimmt und es mit Eis und Chlorkalzium füllt und kurze Zeit in den Apparat einführt, bis die entsprechende Eishaut sich gebildet hat [1]).

Der Hahn kann sowohl in der Richtung des Kalorimeters, als nach oben zu dem kleinen Trichterchen die Kommunikation herstellen, letzteres zu dem Zwecke, um etwa noch Quecksilber herauszunehmen oder nachzufüllen.

Ist die Einstellung genügend, so läßt man in einem gegebenen Momente einen gewogenen Körper von höherer bekannter Temperatur als Null in das Aufnahmerohr des Kalorimeters fallen und schließt es mit einem Kork. Durch die Wärme wird ein Teil des Eises schmelzen, das Volumen des durch das Quecksilber abgeschlossenen Raumes also geringer, der Quecksilberfaden zieht sich zurück, man liest ab und kann nunmehr die spezifische Wärme berechnen. Die Messungen mit dem Eiskalorimeter nehmen im allgemeinen mehrere Stunden in Anspruch.

Um 1 g Eis in Wasser von 0° zu verwandeln, sind 80,0 gkal. nötig. 1 g Eis von 0° hat das Volumen 1,0908 ccm, 1 g Wasser ein solches von 1,0001 ccm. Wenn das Volumen sich um 1 ccm mindert, ist eine Eismenge von

$$\frac{1}{0{,}0907} = 11{,}03\,\text{g}$$

geschmolzen $(1 \cdot 0908 - 1 \cdot 0001 = 10{,}0907)$.

Ist die Volumenabnahme (v) dadurch entstanden, daß m g eines Körpers von t auf 0° sich abkühlen, so ist die spezifische Wärme des Körpers (c)

$$c = \frac{v}{m} \cdot \frac{11{,}03 \times 80}{t} = \frac{v}{m} \cdot \frac{882}{t}.$$

1) Näheres s. auch bei Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Physik 1910 S. 200; Ostwald-Luther, Physiko-chemische Messungen 1910 S. 330.

Als Mittel einer Schätzung der spezifischen Wärme des Gesamtkörpers des Menschen kann man 0,83 annehmen (Liebermeister), es hängt der Wert aber wesentlich von dem Fettreichtum des Körpers ab.

J. Rosenthal hat mit dem Bunsenschen Eiskalorimeter eine Reihe von Körpersubstanzen untersucht[1]).

Verfasser findet für mageres Fleisch 0,828, und für wohlentwickeltes Fettgewebe 0,53. Die spezifische Wärme des reinen Fettes ist rund 0,45[2]). Da das Fett sehr ungleichmäßig im Organismus sich verteilt, so sind wechselnde Bezirke des Körpers von sehr ungleicher spezifischer Wärme.

Die ursprüngliche Form des Eiskalorimeters ist mehrfach abgeändert, so von Schuller und Wartha (Fig. 9), an Stelle der kalibrierten Röhre

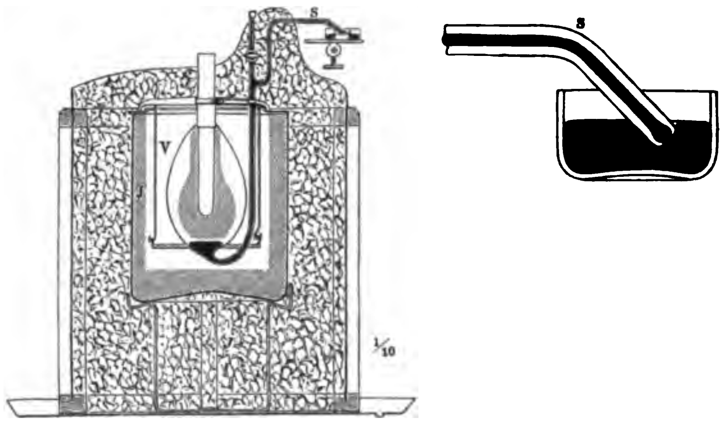


Fig. 9.

Bunsens wird die Volumenverminderung beim Schmelzen von Eis dadurch bestimmt, daß von einem gewogenen Vorrat von Quecksilber, das sich in einem Schälchen befindet, eine gewisse Menge in den Apparat gesaugt wird. Durch Wägung wird diese Größe festgestellt. 1 gkal. = 0,0154 8 g Quecksilber[3]).

In einigen Fällen wird man von den Eiskalorimetern noch einen besonderen Gebrauch machen können, nämlich zur Feststellung der Quellungswärme. Verfasser hat zuerst darauf hingewiesen, daß zu einer geordneten Bilanz unserer Nahrungszufuhr in kalorimetrischer Hinsicht auf den Quellungszustand, in dem wir manche Stoffe aufnehmen, geachtet werden müsse[4]), und hat versucht, diese Größen etwas zu umgrenzen. Neuerdings hat Krummacher die Quellung von Muskeleiweiß mittels des

1) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878 S. 215.

Kompakter Knochen	0,3
Spongiöser Knochen	0,71
Fettgewebe	0,71
Quergestreifter Muskel	0,825
Venöses Blut	0,892
Arterielles Blut	1,031.

2) Arch. f. Hygiene LV, S. 237.

3) Wiedemanns Annal. 1877 2, 259.

4) Z. f. Biol. XX, S. 307 u. Sitzungsber. d. bayr. Akad. l. c. 1884.

Bunsenschen (Warthaschen) Eiskalorimeters bestimmt. 1 g trockne Substanz entwickelt mit Wasser rund 28 gkal. an Wärme.[1])

Die Benutzung des Eiskalorimeters zur Feststellung der Verbrennungswärme von Gasen wurde schon oben erwähnt.

Ebenso wie Organteile müssen bisweilen natürlich beliebige andere Stoffe und Lösungen auf ihre spezifische Wärme untersucht werden.

Handelt es sich um spezifische Wärmen verdünnter Lösungen, so kann man auf eine direkte Bestimmung meist verzichten und sich an die von Berthelot gegebene Regel halten, daß der Wasserwert verdünnter Salzlösungen einfach ihrem Gehalt an Wasser gleichzusetzen sei.

Manchmal kann man aber von so einfachen Regeln keinen Gebrauch machen, z. B. bei organischen Körpern und Gemischen solcher (etwa bei Milch).

Hier ist die direkte Messung nicht zu umgehen. Steht kein Eiskalorimeter zur Verfügung, so gibt es noch andere bequem auszuführende Verfahren; man läßt eine bekannte Gewichtsmenge Flüssigkeit in dem Wasser eines Kalorimeters sich abkühlen und bestimmt den Wärmezuwachs des Kalorimeterwassers. Angewendet werden dabei zumeist 100 g Flüssigkeit, im Kalorimeter etwa 1500.

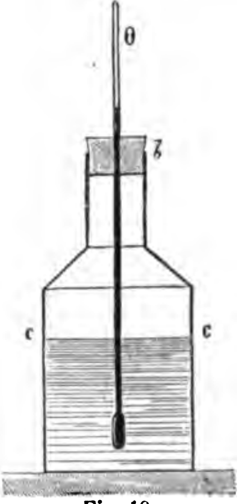


Fig. 10

Die auf ihre spezifische Wärme zu untersuchende Flüssigkeit kommt in ein kleines (etwa 120 ccm fassend) Messing- oder Platingefäß (zylindrisch) Fig. 10, mit konisch eingeschliffenem Deckel oder einfachem Ansatzrohr, in welchen, durch Kork (b) isoliert, ein Thermometer steckt. Die Flüssigkeitsmenge darf nie das Gefäß ganz füllen, sondern muß Spielraum für das Schütteln der Flüssigkeit gewähren.

Man erhitzt das Gefäß mit Flüssigkeit im Wasserbad oder Luftbad, hat inzwischen das Kalorimeter mit Wasser gefüllt, sich in der Temperatur einstellen lassen und diese notiert; in einem gegebenen Moment liest man die Temperatur des Gefäßes mit der zu untersuchenden Flüssigkeit rasch ab und taucht es sofort ins Kalorimeterwasser, ergreift es am oberen Ende des Thermometers und benutzt dieses selbst als Mischer. Das Wasser des Kalorimeters nimmt an Wärme zu und das Gefäß an Wärme ab; man braucht nicht so lange zu warten, bis das letztere sich völlig mit dem Kalorimeterwasser abgeglichen hat, sondern unterbricht schon vorher unter Ablesen der Temperatur des Kalorimeterwassers und des Untersuchungsgefäßes das Experiment.

Vom Gefäß muß man das Gewicht des Inhalts kennen und das Metallgewicht, aus welchem man aus bekannten Angaben den Wasserwert (spezifische Wärme des Messings oder Platins) ableiten und in Rechnung stellen kann (meist sehr klein).

Wir erhalten eine bestimmte Menge von Kalorien, die an das Kalorimeter (Wasserfüllung + Wasserwert desselben) übertragen worden ist, und

1) Zeitschr. f. Biol. 1909 4 LII, S. 262.

andererseits die Temperaturabnahme der Substanz, woraus sich die spezifische Wärme ableiten läßt, wenn man die Menge der von einem Gramm Substanz für einen Grad Wärmeabnahme an das Kalorimeter verlorene Kalorienzahl bestimmt.

Weiter läßt sich die spezifische Wärme durch Mischen warmen Quecksilbers mit einer Lösung bestimmen, ein durch das vorgenannte entbehrliches Verfahren. Dasselbe gilt für das Verfahren von Krummacher, der ein Berthelotkalorimeter statt mit Wasser mit der Flüssigkeit füllte, deren spezifische Wärme untersucht werden sollte, und dann eine Verbrennungswärmebestimmung mittels einer Substanz von genau bekanntem Kaloriengehalt ausführte, wobei sich bei einer Substanz von geringerer spezifischer Wärme als Wasser ein stärkerer Temperaturzuwachs als bei letzterem ergibt.[1])

b) Bestimmungen der Lösungswärme.

Zu den gelegentlichen Aufgaben kalorimetrischer Messung gehört die Bestimmung der Lösungswärme eines Körpers. Meist werden freilich die nötigen Daten aus physikalischen Handbüchern zu entnehmen sein.

Besondere Fälle, die eben nur physiologisches Interesse bieten, sind z. B. die Bestimmung der Lösungswärme der Harnbestandteile. Ich habe zuerst die Lösungswärme des Harnstoffes bestimmt[2]), indem ich das Thompson-Frankland-Kalorimeter benutzte, dessen Konstanten für Verbrennungswärmebestimmungen schon bekannt waren; die feingepulverte Substanz kam in das kleine Gefäß der Taucherglocke (Fig. 1), beim Öffnen des Hahnes trat das Wasser nach. Die spezifische Wärme der (2 %) Harnstofflösung muß aber dabei besonders festgestellt werden.

Im übrigen bedarf es keiner komplizierten Einrichtung, um derartige Experimente auszuführen; jedes Kalorimeter kann uns dazu dienen; nur muß darauf gesehen werden, daß die (gepulvert) einzubringende Substanz von gleicher Wärme wie das Kalorimeterwasser sei.

Die nach verschiedenen Methoden gemessenen Werte der Lösungswärme (negativ) des Harnstoffs sind pro Molekel:

Rubner (l. c. 1884)	3,679 kgkal. (pro 1 g 61,318 gkal.
Berthelot u. Petit[3])	3,580
Thommsen[4])	3,349
Speyer[5])	3,628
Krummacher	3,57

Im Harn kommen auch die Salze für die Lösungswärme in Betracht. Nach Krummacher[6]) liefert 1 g Harn nach Fleischfütterung 40,05 gkal., nach reiner Eiweißkost 47,65 gkal. Vergleicht man pro 1 g N des Harnes die Lösungswärme, so hat man bei

Harnstoff	127,4	gkal. Lösungswärme
Eiweißkost	119,3	„ „
Fleischkost	116,1	„ „

zu rechnen.

1) Zeitschr. f. Biol. 1905 XLVI, S. 309.
2) Zeitschr. f. Biol. 1884 XX, S. 414.
3) Annal. de chim. et Phys. (6) 1890.
4) Thermochem. Untersuch. I, S. 407.
5) Chem. Zentralblatt 1896 1, S. 684.
6) Z. f. Biol. 1908 LI, S. 329.

Einige Betrachtungen über den Gebrauch der kalorimetrischen Ergebnisse.

Bestimmungen der Verbrennungswärme sind in einem sehr ausgedehnten Maße ausgeführt worden, so daß wir über die für den Physiologen wesentlichsten Stoffe hinreichend genau unterrichtet sind.

Nachstehend sind in der Tabelle eine Reihe solcher Messungen an tunlichst rein dargestellten Substanzen zusammengestellt worden.

Tabelle I.
1 g Trockensubstanz liefert gkal.

	Stohmann	Berthelot	Rubner
Eiweiß	5735	5687	—
Eiweißstoff des Fleisches	5721	5728	5778
Fleisch vom Rind (fett- und aschefrei)	5641	—	5656
Serumalbumin	5918	—	—
Hämoglobin	5885	5910	5949
Kasein	5858	5626	5871
Vitellin	5745	5781	—
Dottereiweiß	5841	—	—
Fibrin	5636	5529	—
Legumin	5793	—	—
Kürbiseiweiß	5672	—	—
Konglutin	5479	—	—
Leim geb. Gewebe	5355	—	—
Ossein	5040	5410	—
Knorpelleim	5121	5342	—
Pepton	5299	—	—
Glykokoll	3129	—	—
Alanin	4355	—	—
Leuzin	6525	—	—
Asparaginsäure	2899	—	—
Harnstoff	2537	2525	2523
Harnsäure	2741	2747	—
Extraktivstoffe des Fleisches	—	—	4537
Tierisches Körperfett	9500	—	9423
Butter	9231	—	9216
Vegetabil. Fett	—	9520	—
Stärke	4183	4228	—
Dextrin	—	4119	—
Rohrzucker	3955	3962	4001
Glukose	3743	3762	—
Milchzucker, krist.	3737	3777	—
Arabinose	3720	3714	—
Äthylalkohol	—	7068	—
Cholesterin	—	—	9883
Ochsengalle	—	—	7614
Cholalsäure	—	—	8119
Haare	5818	—	—

Die Nahrungsmittel sind Gemische einzelner Nahrungsstoffe; sie ent-

halten mehr oder minder reichlich auch Aschebestandteile. An ein paar Beispielen soll ihr Verbrennungswert gezeigt werden.

Tabelle II.

1 g Trockensubstanz liefert gkal.

Substanz	gkal.	Substanz	gkal.
Mageres Rindfleisch . . .	5390	Speck	9019
Fettes Kalbfleisch*) . . .	5874	Butter	9216
Hecht	5473	Schweinefett	9480
Karpfen	5816	Weißbrot*)	4302
Heringe, geräuch.	4545	Graubrot	4220
Schinken (mager)	4439	Kleiebrot	4243
Milch (Kuh)	5613	Roggenbrot*)	4421
Magerkäse	4739	Kartoffel	4104

Die menschliche Kost enthält, wenn sie fettreich ist, rund 6,030 kgcal. p. 1 g organisch, eine fettarme gemischte Kost rund 5,006 kgkal. p. 1 g organisch.

Für physiologische Zwecke ist mit den unmittelbaren Ergebnissen des Verbrennungswertes der Verbindungen unser Interesse nicht abgeschlossen. Die Eigenart der tierischen Organisation verlangt noch einige Bemerkungen und Erwägungen, die für die Anwendung der Zahlen für energetische Fragen von Bedeutung sind.

Einfach, d. h. dem rein physikalischen Vorzug der Verbrennung entsprechend verhalten sich solche Kohlehydrate und Fette, welche Nahrungsstoffe sind, sie verbrennen im Körper normalerweise glatt in Kohlensäure und Wasser.

Abweichend davon gestaltet sich die Umsetzung bei den N-haltigen Stoffen, hier wird der N, wie absolut feststeht, nur in den flüssigen und festen Ausscheidungen abgegeben, wenn es sich um Eiweißstoffe, Albumosen, Peptone und Leim handelt. Beim Menschen und manchen Tieren sind die Harnbestandteile Umsatzprodukte der Eiweißstoffe und verwandter Verbindungen. Neben den genannten Verbindungen kommen in den Nahrungsmitteln N-haltige Stoffe vor, welche als Extraktivstoffe bezeichnet werden. Von den Extraktivstoffen des Muskels hat Verfasser[3]) und später Bürgi nachgewiesen, daß sie so gut wie ganz unverändert in den Harn übergehen. Es ist wahrscheinlich, daß bei der nahen chemischen Verwandtschaft der Extraktivstoffe in anderen Organen, diese sich wie die Muskelextraktivstoffe verhalten. Auch in Pflanzen sind ähnliche Körper oft in großer Menge vorhanden (z. B. in der Kartoffel).

Eiweißfütterung liefert auch einen eigenartigen Kot, der wohl als Umsatzprodukt anzusehen ist und einen dem Eiweiß also zuzurechnenden Energieverlust bedingt. Vom Kot nach Fleischfütterung sind etwa $^2/_3$ der

*) Nach Stohmann, die übrigen Werte vom Verfasser.

1) Rubner, Zeit. f. Biol. XLII, S. 298.

2) Zeit. f. Biol. XX, 1884, S. 261 u. Arch. f. Hyg. 1904, LI, S. 220 usw.

N-Substanzen und 68 % der verbrennlichen Stoffe überhaupt in Äther und absolutem Alkohol löslich (**Rubner**). Verfasser[1]) hat zuerst direkte Bestimmungen der Abfallprodukte der Nahrung beim Fleischfresser (Hund) angestellt.

Es liefert 1 g Harnstoff[1])	2523 gkal		
Harn nach Eiweißfütterung	2706	„	(aschefrei)
„ nach Fleischfütterung	2954	„	„
„ bei Hunger	3101	„	„
Die organische Substanz des Kotes			
bei reiner Fleischkost 1 gr.	6284	„	
„ „ Fettkost	7625	„	
„ Fleisch, Fett, Stärke	5306	„	
„ Knochenfütterung	5205	„	

Der Kot (nach Fleisch) enthält fast ebensoviel in Äther, wie in saurem Äther lösliche Stoffe (sogen. Seifen), erstere Substanzen erreichen bis 9,2, letztere etwa 7,2 kgkal. p. 1 g organisch, selten mehr. Das Alkoholextrakt 3,982 kgkal. p. 1 g. Der von allen im Äther und saurem Äther löslichen Stoffen befreite Kot liefert 4,144—4,454 kgkal. p. 1 g organisch.

Aus den vorliegenden Ergebnissen hat Verf. seinerzeit zur Erleichterung der Verwendung derselben das kalorische Äquivalent des N (im Stoffwechselsinne) abgeleitet. Da ja dies Element zur Bestimmung des Eiweißumsatzes dient, ist es willkommen, eine Konstante zur Berechnung zu besitzen. Es liefert:

1 N bei hungerndem Tier	24,94 kgkal.	
1 N „ Fleischfütterung	25,98	„
1 N „ Fleischeiweißfütterung	26,66	„

Für den Menschen gilt bei Fleischkost fast genau der gleiche Wert wie für den Hund.[2]) Die geringere Wertigkeit des N bei Hungerzersetzung beruht auf der Bildung eines an verbrennlichen Substanzen reichen Harnes.

Die Durchrechnung des kalorischen Wertes des N mag an einem Beispiel gezeigt werden. Es ist zunächst zu berücksichtigen, a) daß die Eiweißstoffe in gequollenem Zustande aufgenommen werden und bei der Quellung Wärme verloren wird; dieser Betrag läßt sich schätzen. b) Die Harnbestandteile lösen sich unter Wärmebindung.

Im einzelnen ergibt sich für Fleisch folgende Bilanz:

100 g trockenes Fleisch, 15,4 N	= 534,5 kgkal.	
Abzug für Harn 15,16 N × 8,495	= 128,8	
Abzug für Kot 3,46 g N × 4,824,	16,8	
Abzug für Quellung des Eiweißes[3])	2,7	
Abzug für Lösung des Harnes[4])	2,0	150,3
bleibt für 15,4 N	384,2 kgkal.	

In der Literatur werden von einigen noch immer die theoretischen Einwände **Pflügers**,[5]) die ihn aber schließlich doch zu den gleichen Endresultaten wie mich führten, wiedergegeben, obschon ich dieselben eingehend experimentell widerlegt habe.[6])

1) Gesetze des Energieverbrauchs S. 34.
2) Ges. d. Energieverbrauchs S. 32.
3) und 4) sind Schätzungen.
5) Arch. f. d. ges. Physiol. LII, 1892 u. LXXVIII, 1900.
6) Ges. d. Energieverbrauchs 1902, S. 19.

Beim Menschen liegen die Nahrungsverhältnisse viel komplizierter, als bei unseren Versuchstieren. Die Verschiedenheit der animalischen und vegetabilischen Nahrungsmittel geben, was das Eiweiß anlangt, eine Zufuhr der verschiedenartigsten Körper. Auch ist der N-gehalt der Nahrungsstoffe nicht immer nur Eiweiß, sondern reichlich, manchmal sogar bis zur Hälfte extraktiver Natur. Was man Fett nennt, ist nur der Ätherextrakt verschiedener Herkunft, die Kohlehydrate sind gleichfalls Mengungen verschiedener Stoffe.

Ich habe auf Grund sorgfältiger Erwägungen bestimmt, daß man bei der üblichen Analysenart unserer Nahrungsmittel pro

1 g N-Substanz	4,1
1 g Fett	9,3
1 g Kohlehydrat	4,1 kgkal.

rechnen müsse.[1])

Die Berechnung dieser Annahmen ist bewiesen durch eingehende kalorimetrische Untersuchungen der gemischten Kost durch v. Rechenberg,[2]) durch spätere umfangreiche Vergleichungen der Berechnung und direkte Bestimmung der menschlichen Kost meinerseits.[3])

Ich betrachte es als eine unerfreuliche Tatsache, daß immer wieder Versuche unternommen werden, andere Berechnungsformen, die weder im Resultat genauer noch auch handsamer, oder innerlich berechtigter sind, an Stelle meiner Standardzahlen, zu empfehlen. Ich muß daran festhalten, daß die Verluste mit dem Kot für sich bestimmt und berechnet werden. Jedes Verfahren, das die Ausnutzung bereits bei den Standardzahlen berechnen will, ist unzulässig; es gibt keine mittlere Ausnutzung von Eiweiß, Fett oder Kohlehydrat. Fügt man verschiedene Nahrungsmittel zu einer Kost zusammen, so kann keine Rede davon sein, daß sich die wirkliche Ausnutzung aus der Summe der Einzelausnutzungen berechnen läßt.[4])

Die auf die Ausnutzung zu beziehende Korrektur ist zu wandelbar, als daß sie generell in eine Formel gebracht werden könnte, sie kann nur im Einzelfall genauer berücksichtigt werden.

Der wünschenswerte Fortschritt in der Erkenntnis der Details unserer stofflichen und energetischen Betrachtungen kann nur von der Weiterentwicklung der Nahrungsmittelanalyse erwartet werden.

Man kann den Energieverlust bei gemischter Kost, in der Gemüse und Schwarzbrot vertreten sind, auf rund 8 % (Münchner Beobachtung[5]) oder bei wenig Gemüsen und Weißbrot (nach meinen Berliner Beobachtungen) auf rund 6 % annehmen.

Die Berechnung des Energieverbrauchs (nach meinen Standardzahlen) stimmt mit der direkten Messung der Verbrennungswärme innerhalb der Grenze + 1,6 % und — 1,2 % überein, was für alle üblichen Kraftwechselbetrachtungen genügend ist.

1) Zeit. f. Biol. XXI, S. 377.

2) Die Ernährung der Handweber. Leipzig 1890. S. 33.

3) Zeit. f. Biol. XLII, S. 261. — Siehe auch bei Tigerstedt, Handbuch der Biochemie von Oppenheimer. IV. Bd., S. 29.

4) Siehe Kritik bei Rubner, Zeit. f. Biol. XLII, 1901, S. 265, sie betrifft das Verfahren von Rechenberg u. Stohmann, u. von König (die menschlichen Nahrungs- u. Genußmittel, Bd. II, 1904. S. 372).

5) Rubner, Zeit. f. Biol. XVI, 1885, S. 379.

Wir besitzen auch über eine Reihe von einzelnen Nahrungsmitteln genauere Zahlen über den Energiewert, den sie dem Körper zuführen.

Was an Energie von jedem Nahrungsmittel im Organismus verwertbar ist, habe ich den **physiologischen Nutzeffekt** genannt.[1])

Mittelwerte für den Erwachsenen.

Nahrung	Verluste in % im Harn	Verluste in % im Kot	Physiol. Nutzeffekt in %
Kuhmilch	5,13	5,07	89,8
Gemischte Kost (fettreich)	3,87	5,73	90,4
„ „ (fettarm) .	4,60	6,00	89,3
Kartoffel	2,0	5,6	92,3
Brot aus ganzem Korn .	2,4	15,5	82,1
Kleiebrot	2,2	24,3	73,5
Fleisch	16,3	6,9	76,8

Alle im Darm gut ausgenutzten N-armen Nahrungsmittel haben einen hohen, nur die N-reichen trotz guter Ausnutzung keinen hervorragenden Nutzeffekt (vgl. Fleisch und Kartoffel).

Noch einige Betrachtungen über den Energieverlust für Harn und Kot sind hier anzufügen.

Ich habe zuerst nachgewiesen, daß das Verhältnis $\left(\frac{\text{Kal}}{\text{N}}\right)$ im Harn einem Wechsel unterworfen ist, dieser Wert, der **kalorische Quotient** benannt, beträgt (beim Hund):

bei Harnstoff 5,41
„ Harn nach Eiweißfütterung 6,69
„ „ „ Fleischkost . . 7,45
„ „ bei Hunger 8,49

Als Grund dieser Verschiedenheit habe ich erwiesen den ungleichen Gehalt dieser Harne an Harnstoff einerseits und Körpern organischer Natur, die nicht Harnstoff sind, andererseits.[2])

Beim Menschen habe ich zuerst bei Milchkost die Beobachtung gemacht,[3]) daß der Erwachsene einen kalorischen Quotienten besitzt (7,71), der mit der Fleischkost des Hundes übereinstimmt, während der Säugling an der Mutterbrust eine außergewöhnlich hohe Zahl liefert (12,2), die auch in dem hohen Kohlenstoffgehalt des Harnes einen Ausdruck findet, was später von anderer Seite voll bestätigt wurde.[4])

Langstein hat gezeigt, daß dieser hohe kalorische Quotient nur vor-

1) **Rubner**, Zeit. f. Biol. XLII, S. 306.
2) Zeit. f. Biol. XXI. S. 331.
3) Zeit. f. Biol. XXXVI, S. 71, 1898 und **Heubner** u. **Rubner** ebd. S. 49.
4) **Van Oordt**, Zeit. f. Biol. XLIII, S. 46.

handen ist, so lange wenig Eiweiß umgesetzt ist, d. h. viel Eiweiß beim Wachstum angesetzt wird.[1])

Tangl glaubt auch bei gemischter Kost des Menschen große Differenzen im kalorischen Quotienten zu finden (8,6—9,6 bei fettreicher, 11,5—11,9 bei kohlehydratreicher Kost). Ich konnte in umfangreichen Untersuchungen diese Differenzen nicht bestätigen[2]) (auch nicht bei ausschließlicher Kartoffelkost), indem bei fettarmer Kost der Quotient zu 8,45, bei fettreicher zu 8,65 im Mittel gefunden wurde, im Gesamtmittel für gemischte Kost zu 8,02.

Die von Atwater[3]) bestimmten kalorischen Quotienten des Menschen schwanken zwischen 7,09 bis 9,08, als Mittel gibt er 8,07 an, was mit meinen Werten vollständig übereinstimmt.[4])

Der Kot des Menschen zeigt sich von sehr gleichartiger Zusammensetzung, vorausgesetzt, daß die Ausnutzung nicht schlechter wird, als 8 % Energieverlust der Einnahme entspricht.

Auf 1 g organisch trifft im Kot

bei Fleisch	6403	gkcal.	
„ Milch	6518	„	
„ fetter gemischter Kost	6104	„	
„ fettarmer Kost	6059	„	
„ Kartoffel	6413	„	
„ Brot	5259	„	schlecht ausnutzbar
„ Kleiebrot[5])	5293	„	schlecht ausnutzbar
beim Säugling bei Muttermilch[6])	5893	„	
„ Mekonium[7])	5813	„	

Fassen wir die Bestimmung des Energiewertes der Kost nochmals kurz zusammen, so wird dieselbe vorgenommen werden können, a) vorausgesetzt, daß der Mensch wirklich mit der Nahrung im Gleichgewicht ist, durch direkte Analyse aller Zufuhr der Kost und aller Abgänge; ein meist sehr umständliches Verfahren. b) durch die Berechnung der Einnahmen aus den Standardzahlen, und α) unter Abzug der Verbrennungswärme des Kotes nach direkter Analyse oder β) unter Abzug eines Verlustes von 6—8 % der Zufuhr als Kotverlust. Die letzte Methode wird für die meisten praktischen Fragen vollständig zureichend sein.

Der kalorische Wert des Sauerstoffs und die Berechnung der Verbrennungswärme aus der Elementaranalyse der Körper.

Der Gedanke aus den Respirationsprodukten, die Größe der erzeugten Wärme im Tierleib zu bestimmen, ist so alt, wie die experimentellen Untersuchungen auf diesem Gebiete, denn sie gehen so weit zurück, wie die Kalorimetrie selber, nämlich auf Crawford und Lavoisier. Bei Crawford finden wir den kalorischen Wert des Sauerstoffs zuerst in die Erscheinung

1) Journal f. Kinderheilkunde LXI, S. 94. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1899, S. 261.
2) Zeit. f. Biol. 1902, XLII, S. 303.
3) Bull. No. 136, S. 223, 1903.
4) Siehe auch Löwy, Arch. f. Physiol. 1901, S. 317.
5) Rubner, Zeit. f. Biol. XLII, 1902, S. 297.
6) Rubner u. Heubner, Zeit. f. Biol. XXXVI, S. 49.
7) Zeit. f. Biol. XLII, S. 298.

treten und bei Lavoisier die Wärmeberechnung aus verbranntem Kohlenstoff und Wasserstoff, Versuche einer thermischen Lösung, die in der Gedankenrichtung der Quelle der tierischen Wärme bei beiden Forschern zu suchen sind, für Crawford stammt die Wärme aus dem Sauerstoff, für Lavoisier aus der verbrannten Substanz.

Diese Gesichtspunkte kehren in der Folgezeit immer wieder und lassen sich bis auf unsere Tage verfolgen.

Besonders lang hat sich das Verfahren von Lavoisier erhalten und noch heute geben manche Lehrbücher gewissenhaft solche Wärmeberechnungen, deren Unhaltbarkeit bereits Ludwig in seinem Lehrbuch, 2. Teil, S. 747, 1864, an der Hand der Verbrennungswärmen von Favre und Silbermann gezeigt hatte.

Noch einseitiger war der Versuch, ein kalorisches Äquivalent der Kohlensäure aufzustellen, wobei also die Verbrennung von Wasserstoff ganz außer Betracht blieb. Andere Autoren gingen von der Annahme aus, der Sauerstoff sei in seinem kalorischen Wärmewerte gleich. Ich habe die Größe der maximalen Fehler dieser Methoden zuerst präzisieren können, als die genauen Verbrennungswärmen der Hauptgruppen unserer Nahrungsstoffe durch meine Untersuchungen bekannt geworden waren;[1]) danach war das Lavoisiersche Verfahren noch das wenigst fehlerhafte, die Berechnung des kalorischen Äquivalentes der Kohlensäure das fehlerhafteste Verfahren. In jeder Gruppe der Nahrungsstoffe ergaben sich aber einheitliche Werte für den kalorischen Wert des Sauerstoffes.

Diese Tatsache ist späterhin zum Ausgangspunkt für eine Reihe von Betrachtungen geworden, welche für die Frage der Energieberechnung aus den respiratorischen Vorgängen die Unterlage bildeten. So hat namentlich Zuntz und seine Schule die Wärmeberechnung aus den Respirationsprodukten auf Grund der Dreiwertigkeit der kalorischen Äquivalenz weiter ausgebildet, wir kommen darauf noch zurück.

Auf der gleichen Basis, daß der Sauerstoff in chemischen nahestehenden Gruppen den gleichen kalorischen Wert besitzt, bewegt sich auch ein Vorschlag von Erwin Voit zur Berechnung der Verbrennungswärme.[2])

Kennt man die elementare Zusammensetzung einer Verbindung, so läßt sich die zur vollkommenen Oxydation notwendige Sauerstoffmenge wie folgt berechnen: wenn h die Wasserstoff-, c die Kohlenstoff-, s die Schwefel- und o die Sauerstoffprozente angeben und unter O die für 1 g Substanz nötige Sauerstoffmenge = Sauerstoffkapazität verstanden wird, ist:

$$100\,O = 8\left(\frac{h}{1{,}01} + \frac{c}{3{,}0} + \frac{s}{5{,}3}\right) - o$$

Dividiert man die Verbrennungswärme von 1 g Substanz durch O, also $\left(\frac{Kal}{O}\right)$,

1) Zeit. f. Biol. XXI, S. 264.
2) Die Berechnung der Verbrennungswärme mittels der Elementarzusammensetzung. Zeit. f. Biol. XLIV, 1902, S. 345 ff.

so erhält man die Wärmewerte von 1 g Sauerstoff, d. h. die Wärmemenge, welche bei völliger Oxydation durch 1 g Sauerstoff entbunden wird.

Die Verbrennungswärme ergibt sich, wenn man die Sauerstoffkapazität mit dem mittleren Wert K (dem kalorischen Wert des Sauerstoffs) multipliziert. Die Werte für K sind in gkal:

Für die Zuckerarten	**3525**
für niedere Fettsäuren	3275
für hohe Fettsäuren	3265
für Neutralfette	**3271**
pflanzliches Eiweiß	**3298**
tierisches Eiweiß	**3273**
Muskelfleisch [1])	**3060**

Für die Abfallstoffe:

Harnstoff, Harnsäure	3171
Harn nach Fleischzufuhr [2])	3290
Kreatin, Sarkosin	3391
Leucin, Glykokoll	3244
Exkremente nach Fleischeiweißfütterung beim Huhn [3])	3250

Die Werte für die Nahrungsstoffe gelten für die Verbrennung in Sauerstoff, sind aber für Fette und Kohlehydrate unmittelbar, für die Eiweißstoffe nur bedingt anwendbar, da bei letzteren auch Harn und Kotbestandteile berücksichtigt werden müssen. Für die Berechnung des kalorischen Wertes müßten auch genauere Analysen für Harn und Kot vorliegen, woran es bisher meistens fehlt. Die vielen Berechnungen des kalorischen Wertes des Sauerstoffs bei Eiweißverbrennung im Tierkörper geben recht erhebliche Abweichungen, weil die einzelnen Autoren bald von Fleisch, bald von mittleren Analysen für Eiweiß ausgehen, bald von der Verbrennungswärme der gequollenen Stoffe oder von den trockenen, bald als Verlust nur Harnstoff, oder andererseits den spezifischen Harn und Kot berücksichtigen. So schwankt der Wert von 3,0 [4]) — 3,3, je nach den Unterlagen, die gewählt werden. Man hat auch nicht außer acht zu lassen, daß abgesehen von den Schwankungen der Zusammensetzung des Harns bei Berechnung der Sauerstoffkapazität gewisse Unsicherheiten in der Verrechnung der Elemente S wie auch des P vorliegen können und daß bei aschehaltigen Substanzen, das was wir als Asche finden, nicht ganz und gar dem Begriffe „anorganische Beimengung“ entspricht.

Wenn man die von einem Organismus aufgenommene Sauerstoffmenge kennt, so ließe sich unter gewissen Voraussetzungen aus den kalorischen Quotienten im Mittel die Wärmebildung berechnen, falls Sauerstoff nur zur Oxydation gedient hat; nun haben die drei Hauptnährstoffe die Eigentümlichkeit, daß sie bei gleichem Sauerstoffver-

1) Nach meinen Analysen und Stohmanns Analyse von entfettetem Fleisch.
2) Nach eigenen Analysen.
3) Nach Krummacher (Z. f. Biol. 1903 XLIV, S. 374).
4) Meine Zahl für frisches Fleisch; ich rechne für trockenes mit Berücksichtigung von Harn und Kot 3,097 und 3,10, derselbe Wert ergibt sich unter gleicher Annahme aus den Analysen von Stohmann, wie ich sehe.

brauch verschiedene Kohlensäuremengen bilden, d. h. verschiedene respiratorische Quotienten liefern. Eine solche Beobachtung des respiratorischen Quotienten ließe sich leicht aufteilen, wenn z. B. nur zwei Substanzen bestimmter Natur verbrennen.

N. Zuntz hat in neuerer Zeit vorgeschlagen, aus dem N-umsatz den Sauerstoffbedarf und Kohlensäureanteil der Eiweißstoffe zu berechnen, um so statt eventuell dreier verschiedener Quotienten nur zwei, also eine berechenbare, aufteilbare Mischung zweier Quotienten (Fett, Kohlehydrat) zu erhalten, (Resp. Q. für Fett 0,707, Kohlehydrat 1,00).

Dabei muß aber die Voraussetzung gemacht werden:

a) daß aus Kohlehydraten kein Fett gebildet wird, da hierbei respiratorische Quotienten über 1 tatsächlich vorkommen;

b) daß keine Glykogenbildung aus Eiweiß (oder Fett) vorhanden ist, weil dabei Quotienten von unter 0,7 möglich sind;

c) daß der in der Zeiteinheit ausgeschiedene N wirklich dem N-umsatz von Eiweiß entspricht, was zwar für Tagesperioden, nicht aber immer für kurze Perioden (Stunden) oder Teile einer solchen zutrifft.

Da wir bei kurz dauernden Versuchen von 20 bis 30 Minuten mit den Möglichkeiten verschiedener intermediärer Stoffwechselvorgänge zu rechnen haben, ist die bisweilen in der Literatur vorkommende Übertreibung des Wertes solcher kurzdauernder Versuche für Stoffwechsel- und Wärmeberechnungen nicht immer am Platze.

Die Versuche müßten zum mindesten die Nahrungszufuhr genau feststellen, ebenso auch die N-Bilanz auf Grund der Bestimmung von Harn und Kot, und berücksichtigen, welche N-Nahrung (Eiweiß oder anderes Material z. B. Fleisch) vorliegt, was meist ganz vernachlässigt wird.

Was die gebräuchlichen Zahlenwerte anlangt, so wird für „Eiweiß" der respiratorische Quotient 0,809, und für 1 g dieser Substanz als Korrektur, die von dem Gesamtsauerstoffverbrauch und der Kohlensäureausscheidung abzuziehen ist, um den Quotienten für Fett und Kohlehydrat zu finden, für Sauerstoff 966,1 cc, für Kohlensäure 781,7 cc.[1]) angegeben.

Als kalorisches Äquivalent gilt pro 1 Lit. Sauerstoff für

Eiweiß	4,600	Kgkal.
Fett	4,686	„
Kohlehydrat	5,047	„

Von einer exakten Berechnung des Energieverbrauchs aus den Respirationsprodukten, welche etwa den kalorimetrischen Versuch ersetzen könnte, kann allgemein wohl nicht die Rede sein.

---

1) Statt der komplizierten Berechnungen, kann man für gemischte Kost, die zumeist in Betracht kommen dürfte, wobei 1 g N-Substanz (Eiweiß) = 4,1 kgkal. entspricht, wie folgt die Ableitung machen. Da der kalorische Wert des Sauerstoffs auf rund 3,2 angenommen werden kann, so ist für 1 g Eiweißsubstanz $\frac{4 \cdot 1}{3 \cdot 2}$ 1,281 g O nötig = 896 cc; der Quotient bleibt bei reiner Eiweißkost auf 0.79, also für CO_2 708 cc. Diese Werte sind merklich kleiner als die gewöhnlich berechneten.

II. Abschnitt.

Die Biokalorimetrie.

Allgemeines.

Die Kalorimetrie für biologische Zwecke hat im Laufe ihres Bestehens in ihren technischen Mitteln und wissenschaftlichen Zielen wesentliche Wandlungen durchgemacht.

Die ersten Experimente wurden, soviel wir wissen, im Jahre 1777 von Crawford in der Absicht ausgeführt, um zu zeigen, daß die Wärmebildung im Tierleib und die Verbrennung von organischen Stoffen ein gleichwertiger Vorgang sei. Dieser Gedanke kehrt auch bei Lavoisier wieder, und viele Jahrzehnte (1823) später bei Dulong und Depretz. Aber den Erfolg, die tierische Wärme als ausschließliches Produkt der Verbrennung zu beweisen, hatten diese Arbeiten nicht. Denn die Behauptung von Claude Bernard (1876), daß es Dulong und Depretz gelungen sei, eine vollkommene Übereinstimmung zwischen der berechneten Wärmemenge und der von den Tieren produzierten zu finden, besteht nicht zu Recht. Johannes Müller lehnte in seinem Lehrbuch eine solche Deutung völlig ab[1]). Die Wärmeentwicklung, sagt er, sei nicht nur von chemischen Prozessen, sondern auch von der Einwirkung lebender Teile abhängig.

Nach einer langen Pause begegnen wir in den Jahren 1860—1880 einer Neuaufnahme der kalorimetrischen Arbeiten.

Es sind meist spezielle Fragen, wie die der Fieberlehre, die man bearbeitete, Fragen der Wärmebildung bei der Arbeit, manchmal geleitet von dem Gedanken, daß bei Alterationen des Stoffwechsels die Untersuchung der Wärmeerzeugung ein Hilfsmittel der Forschung sein könne.

Ein ganz unverkennbarer Aufschwung der Kalorimetrie beginnt seit dem Jahre 1884 offenbar im Zusammenhang mit der Begründung der energetischen Richtung in der Ernährungslehre. Die Wärme war nunmehr keine Nebenerscheinung des Ernährungsprozesses, wie sie es nach älterer Auffassung gewesen war, sondern selbst das Maß für die Intensität des Lebensprozesses, für die Aufwendungen, die für den Unterhalt des Lebens gemacht werden. Es ist dabei auffallend, daß eine Reihe von Erscheinungen, welche durch die energetische Betrachtung des Stoffwechsels völlig feststanden, oft in recht unvollkommener Weise kalorimetrisch nachgeprüft wurden und als besondere neue Funde betrachtet wurden. Das mag vielleicht darin seine Erklärung finden, daß man einige Zeit an der Fiktion festhalten wollte, die Bestimmung des Energieumsatzes auf ernährungsphysiologischem Wege und die Biokalorimetrie seien getrennte Gebiete, zum Teil hatte man aber wirklich den Gedanken ausgesprochen, daß die Stoffwechselvorgänge zu kompliziert und unvollkommen bekannt seien, als daß sich energetisch berechen-

1) s. Bd. I S. 81, Handbuch der Physiologie, Coblenz 1844.

bare Gleichungen aufstellen ließen. Seitdem ich gezeigt habe (1891), daß die Bilanzen der Energie aus den Stoffwechselgleichungen mit der direkten Messung der Energie auf kalorimetrischem Wege sich decken, sind natürlich derartige Arbeitsprogramme erledigt.

Aber wir dürfen nicht vergessen, daß es auf dem Gebiete des Stoffwechsels noch zahllose Fragen gibt, die sich zweifellos mit Hilfe der Methodik der ernährungsphysiologischen Stoffwechselbilanzen nicht erledigen lassen, und in dieser Richtung der Aufklärung des Chemismus des Stoffverbrauchs und der Erläuterung komplizierter Prozesse desselben liegt die künftige Aufgabe der kombinierten Methodik, der Kalorimetrie und den Stoffwechselstudien, die neben den Bilanzen der festen und flüssigen Ausscheidungen auch den kompletten Respirationschemismus heranziehen muß.

Die Kalorimetrie ist ein Kind der Technik, es kann uns daher nicht wunder nehmen, daß in der neueren Zeit auch diese Hilfsmittel in vollstem Maße dienstbar gemacht werden.

Die ersten kalorimetrischen Experimente.

Wenn es auch der Aufgabe der vorliegenden Arbeit entsprechend wäre, hier mit einer systematischen Darstellung der einzelnen gebrauchten Instrumente zu beginnen, so rechtfertigt es doch der historische Gedanke, die beiden ersten Versuche einer tierischen Wärmemessung für sich zu behandeln, um so mehr als die ersten Systeme dieser Art die Vorbilder für weitere konstruktive Ausführungen gewesen sind.

Adair Crawford hat im Sommer 1777 zu Glasgow wichtige Beobachtungen ausgeführt[1]). Das Kalorimeter Crawfords (Fig. 11) bestand aus drei ineinander gestülpten Behältern (verzinntes Eisen), deren innerster zur Aufnahme des Tieres bestimmt war (Fig. 1 in Fig. 11). Zwischen dem inneren und mittleren Gefäß konnte Wasser eingefüllt werden und zwischen dem mittleren und äußeren waren Flaumfedern zur Isolierung angebracht, ein Polster mit Flaumfedern (l. c. S. 245) deckte das Kalorimeter nach oben ab. Das Kalorimeterwasser wurde mit einem Holzstäbchen gemischt. Die Experimente waren mit Meerschweinchen angestellt worden. Temperaturmessungen wurden mittels eines Fahrenheitthermometers auf $^1/_{10}{}^0$ genau vorgenommen.

Crawford kannte bereits eine Reihe von physiologischen Tatsachen, welche für das Gelingen solcher Experimente wichtig sind. Die Respirationsversuche machte er zwar getrennt von den kalorimetrischen in einem kleinen nebenstehend abgebildeten Respirationsapparat (Fig. 2 in Fig. 11) unter Analyse der Gase, die allerdings der damaligen Zeit entsprechend noch primitiv war. Sie wurden von A, B nach Qu, R getrieben, gemessen, mit Kalkwasser von Kohlensäure befreit.

Er kannte den Einfluß der Temperatur auf die Respiration, d. h. das Bestehen einer Wärmeregulation, und bemerkt später einmal in einer Kritik der Lavoisier-Laplaceschen Experimente ganz richtig, daß dieser Um-

1) Versuche und Beobachtungen über die Wärme der Tiere usw. von Adair Crawford, deutsche Ausgabe, Leipzig 1789.



stand von den beiden letzten Beobachtern nicht genügend in Rechnung gezogen sei. Die Bedeutung der Wasserverdunstung wird gewürdigt. Im einzelnen sehen wir ja vielerlei Ungenauigkeiten, die sich aber bei dem damaligen Stande der chemischen Methodik und der Technik überhaupt nicht wohl besser überwinden ließen.

Sein Grundgedanke, der ihn bei der Kalorimetrie leitete, war ein Vergleich der durch brennbare Stoffe erzeugten Wärme und der durch das Tier erzeugten. Über die Quelle der Wärme war er nicht richtig orientiert, er verlegte die Energiequelle, würden wir heute sagen, in den geatmeten, d. h. verbrauchten Sauerstoff. Auf letzteren bezieht er daher auch die entwickelte Wärme bei seinen Experimenten mit Leuchtmaterial, die er in demselben Kalorimeter anstellte, wie auch bei seinen Tierexperimenten. Er

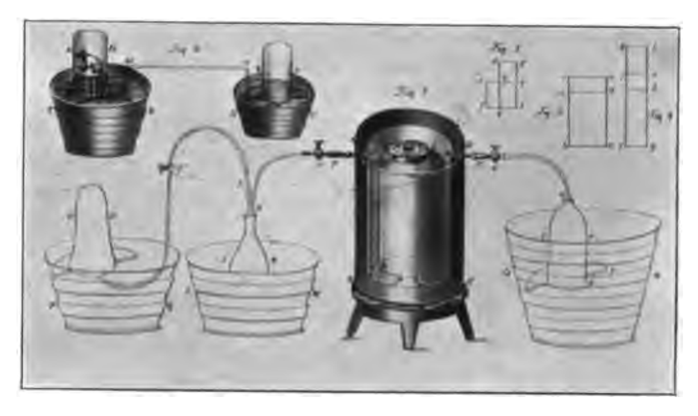


Fig. 11.

bestimmt also, wie wir heute sagen, den kalorischen Wert des Sauerstoffs (l. c. S. 272) und findet, daß 31 Pfund und 7 Unzen Wasser für 100 Unzenmaße reiner Luft durch das Verbrennen

des Wachses um	21°
durch Kohle um	19,3°
durch das Atemholen eines Meerschweins um	17,3°

verändert wurden. Die Unterschiede erklärt Crawford, indem er sagt: „Diese Unterschiede entstehen wahrscheinlich aus folgenden Ursachen: in dem ersteren Falle wird ein beträchtlicher Teil der Luft in Wasser verwandelt und mehr Wärme durch die Veränderung der reinen Luft in diese Flüssigkeit hervorgebracht, als wenn sie in feste Luft (Kohlensäure) verändert wird. In dem letzteren Falle wird ein Teil der Wärme durch unmerkliche Ausdünstung weggeschafft."

Rechnet man die Beobachtungen Crawfords in die moderne Sprache und Gewichte um, so hat er in den obigen Zahlen als kalorisches Äquivalent des Sauerstoffs angegeben 3,27, 2,56, 3,05 Wärmeeinheiten. Die Werte sind für den Kohlenstoff zu klein. Im übrigen ist die Annäherung doch in Wirklichkeit eine sehr weitgehende (s. auch oben S. 154).

Der bedeutendste Zeitgenosse und Konkurrent auf dem Gebiete der

Kalorimetrie war Lavoisier, hinter dessen Verdienste jene von Crawford allzusehr haben zurücktreten müssen.

Am bekanntesten sind in der Literatur die Versuche von Lavoisier und Laplace am Meerschweinchen. Lavoisier hatte mit eigenen Methoden die Verbrennungswärme von Kohlenstoff und Wasserstoff bestimmt und wollte nun die Verbrennungstheorie auch am lebenden Organismus prüfen.

Die Arbeiten sind abgedruckt in den Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Paris vom Jahre 1777, dieser Band ist aber erst 1780 erschienen und die Abhandlung von Lavoisier wurde erst im Juni 1783 in der Akademie verlesen [1]).



Fig. 12.

Lavoisier und Laplace verwendeten zum Tierexperiment ihr Eiskalorimeter (Fig. 12). Letzteres setzt sich zusammen aus einem zylindrischen, nach unten verjüngten Behälter, in welchen ein zweiter im Abstand von einigen Zentimetern eingebaut ist; so entstehen zwei voneinander völlig getrennte Räume, deren jeder einen besonderen Ablaßhahn besitzt.

In dem inneren Behälter ist ein zylindrisches Gefäß mit durchbrochenen Wandungen mit einigen Metallspangen freischwebend gehalten. Zum Gebrauch füllt man kleingehacktes Eis sowohl in den Raum, der den durchbrochenen Behälter umgibt, wie in den Raum zwischen diesem und der Außenwandung. Das Tier wird in den durchbrochenen Innenraum gebracht, ein Deckel mit doppelten Wandungen darauf gegeben, das zerkleinerte Eis darüber, nun mit einem zweiten großen Deckel der ganze Apparat geschlossen und Eis darauf gegeben. Der Verlauf des Experimentes ist dann folgender: Durch die Erwärmung des Apparates in warmer Umgebung schmilzt Eis und Wasser von 0° läuft aus dem einen Hahn ab. Der Innenzylinder mit dem durchbrochenen Behälter gibt durch den mit ihm verbundenen Hahn, solange keine Wärmequelle im Innern sich befindet, aber kein Schmelzwasser ab; wird aber irgend ein über 0° warmer Körper oder ein Tier hereingebracht, so läuft so viel Wasser ab, als Eis geschmolzen ist, vermehrt beim Tierversuch um das Kondenswasser des ausgeatmeten Wasserdampfes. Aus der Schmelzwärme des Eises ließ sich dann annähernd

1) s. Herrn Lavoisiers physikalisch-chemische Schriften. Deutsch v. Weigel, Greifswald 1785, S. 358 u. 359 Anmerkung, und S. 383.

die Wärmeproduktion berechnen, sie ist aber fehlerhaft, weil ja das Kondenswasser des Tieres sich hier beigemengt hat. Den Fehler, daß nicht alles Schmelzwasser sofort abläuft, sondern am Eis und in dessen Kapillarräumen haften bleibt, kann man annähernd eliminieren, wenn man vor dem Versuch das Eis des Innenraums mit Wasser von 0° durchtränkt und den Überschuß ablaufen läßt, man ist aber auch dann nicht ganz sicher, ob während eines längeren Versuchs die Bedingungen für den Schmelzwasserablauf ganz dieselben bleiben. Den Mangel der Ventilationslosigkeit des Kalorimeters hatte Lavoisier dadurch beseitigt, daß er durch Seitenwand und Deckel Röhren hindurchleitete und eine Lüftung herbeiführte. Kleine Tiere halten ihre Eigenwärme im Eiskalorimeter nicht auf normaler Höhe, die Wärmebildung sinkt dadurch.

Das Eiskalorimeter ist späterhin für Tierexperimente nicht mehr in Anwendung gezogen worden. Insoweit Respirationsversuche mit den kalorimetrischen Ergebnissen verglichen werden sollten, haben Lavoisier und Seguin solche in besonderen Experimenten unter ventilierten Glasglocken, also unter wesentlich andern Bedingungen angestellt.

Eine weitere Kritik der Ergebnisse der genannten Autoren s. bei Rosenthal, Handbuch d. Physiologie v. Hermann Bd. IV II. Teil 1882 S. 354 und Rubner, Zeitschr. f. Biol. Bd. XXX S. 74.

Das Wasserkalorimeter.

Weitere kalorimetrische Arbeiten an Tieren wurden nach Crawford und Lavoisier erst im Jahre 1823, also erst 46 Jahre später, aufgenommen.

Aus Anlaß einer von der Pariser Akademie gestellten Preisaufgabe über die Quellen der tierischen Wärme unternahmen zwei Bewerber den Bau eines Tierkalorimeters, Depretz und Dulong; dem ersteren wurde am 1. Juni 1823 der Preis zugesprochen[1]).

Die beiden Kalorimeter sind fast übereinstimmend konstruiert, die Ausführung der Experimente war in mancher Richtung bei Dulong eine vollkommenere als bei Depretz, beide knüpfen an Crawford bezw. an Rumford an. Nur ist inzwischen die Technik eine vollkommenere geworden, die Lehre vom respiratorischen Gesamtaustausch besser bekannt und die Methode der Gasanalyse schon recht genau.

Die Kombination des Kalorimeters mit Vorrichtungen zur Untersuchung des Gaswechsels ergab sich aus der Fragestellung, welche den Nachweis, ob sich die tierische Wärme aus den Atmungsprozessen, also dem Stoffwechsel erklären lasse, zum Ziele hatte.

Die Kalorimeter hatten folgende Einrichtung (Fig. 13a und b). In einem Wasserbehälter wurde ein Kasten zur Aufnahme des Tieres eingebaut, der einen in einen vertieften Rand eingreifenden Deckel besaß. Die vertiefte Rinne wird mit Quecksilber gedichtet und dann Wasser darüber geschichtet, so daß

1) Dulong, De la chaleur animale. Journ. de physiol. expérim. Paris III, 45—52 1823. — Depretz, Rech. expérim. sur les causes de la chaleur animale. Journ. de physiol. expérim. Paris IV, 143—159 1824 und Mém. sur la chaleur animale. Annal. de chim. et de phys. Paris I, 3, 440 1841.



der ganze Tierraum von Wasser umgeben ist. Während Crawford noch einen Schutz gegen Wärmeverlust nach außen um den Wassermantel, der den Tierraum umgab, angewandt hatte, sehen wir bei Dulong und Depretz diesen fehlen, was sicher kein Vorteil war. Der Tierraum ist aber ventilierbar, ein zuführendes Luftrohr geht im Wasser nach abwärts in denselben, der

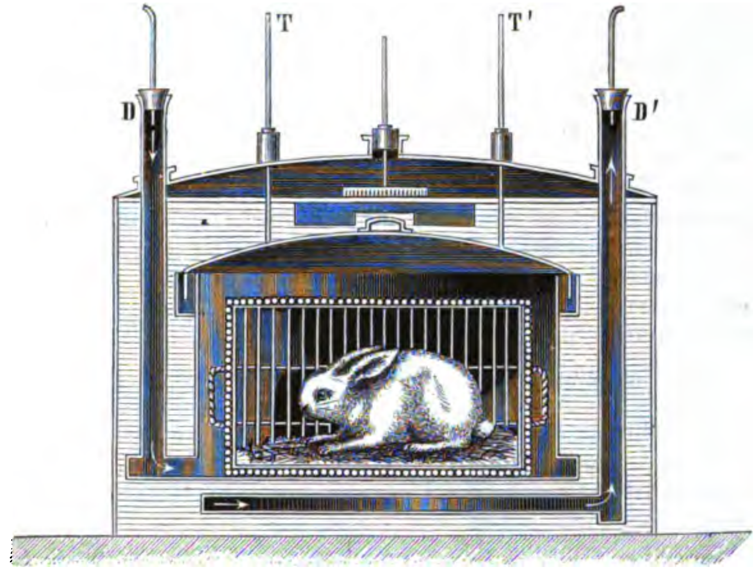


Fig. 13a.

Abstrom der Luft durch eine in Schlangenwindungen geführte Röhre (Fig. 13b) unter dem Tierraum weiter. Die Luft gleicht ihre Wärme mit dem Kalorimeterwasser aus und verläßt dann aufsteigend den Wasserbehälter. Je größer



Fig. 13b.

die Ventilation, ein um so größerer Bruchteil der produzierten Wärme wird durch die Lüftung verloren. Somit setzen sich die Verluste des Kalorimeters aus seinem Wärmeverlust an die umgebende Luft und dem Ventilationsverlust zusammen, welch ersterer empirisch festgestellt werden mußte. Dazu kommt noch der Wärmeverlust durch den vom Tier abgegebenen Wasserdampf.

Das Kalorimeter von Depretz bestand aus Kupfer, er scheint die eintretende Zimmerluft vorher mit Chlorkalzium getrocknet zu haben[1]).

Die Luft strömte aus einem Gasometer zu und wurde nach dem Durchgang durch das Kalorimeter in einem zweiten auch mit Wasser gefüllten Gasometer wieder aufgefangen, durch Gasanalysen bestimmte Depretz den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureausscheidung. Die Kohlensäure nahm er mit Lauge weg, der Sauerstoff wurde durch Verpuffen mit Wasserstoff bestimmt. Die Versuche konnten nur $1^1/_2$ bis $1^3/_4$ Stunden ausgeführt werden und die Ventilation war so ungenügend, daß der Kohlensäuregehalt der Luft im Durchschnitt bis auf 6 % stieg. Den Wärmeverlust durch die Ventilation und den Wasserdampfgehalt der abströmenden Luft bestimmte Depretz nicht.

Dulongs Kalorimeter ist dem allgemeinen Aufbau entsprechend wie das Depretzsche gebaut gewesen, nur ließ er die Luft für die Ventilation, die aus einem Gasometer kam und nach einem zweiten gedrückt wurde, mit Wasserdampf gesättigt eintreten, erhielt also im Kalorimeter selbst bezw. in den unter dem Kalorimeterboden gelegenen Röhren die mehr oder minder völlige Kondensation des exhalierten Wasserdampfes.

Die Wärmemessung ist also vollkommener als bei Depretz, immerhin muß noch durch die Ventilationsluft etwas Wärme dabei verloren gehen, obschon die Ventilationsgröße zweifellos zu klein war, da 5—6 % Kohlensäure in der abströmenden Luft vorhanden waren. Die Wasserdampfsättigung der Luft ist gleichfalls ein Umstand, der störend auf den Verlauf des Experiments eingewirkt haben wird. Das Tier war durch eine Art Korbgeflecht von der Berührung der Kalorimeterwandungen geschützt, eine Einrichtung, welche nicht wie spätere unverständige Kritiker gemeint haben, fehlerhaft, sondern durchaus zweckentsprechend war.

Wasserkalorimeter einfacher Art haben auch späterhin noch mehrfach Verwendung gefunden, teils mit, teils ohne Anwendung von Vorrichtungen zur Messung der respiratorischen Ausgaben.

Ganz ähnlich dem Kalorimeter von Dulong und Depretz war das Kalorimeter von Senator gebaut[2]), wie auch das neuere Kalorimeter von J. Ott[3]). Bei letzterem ist der Wassermantel nach außen durch einen weiten Kupfermantel oder Holzbekleidung isoliert. Ott hat sein Wasserkalorimeter, das in großen Dimensionen mit 250 l Wasserfüllung für den Menschen hergestellt worden war, mittels Verbrennung von Alkohol kontrolliert und bis auf 5 % genaue Resultate erhalten.

Die Wasserkalorimeter sind besonders bei größeren Dimensionen sehr schwerfällige Instrumente, die Variationen der Wasserwärme sind wegen der hohen spezifischen Wärme des Wassers naturgemäß gering, sie machen Mischapparate unentbehrlich. Die Korrekturen für den Wärmeverlust sind erheblich und nur unter selten zu realisierenden Bedingungen exakt

---

1) Annal. d. chim. et de phys. 1824 (3) I, S. 440.

2) Neue Untersuchungen über die Wärmebildung und den Stoffwechsel. Arch. f. Physiol. 1872.

3) Human calorimetry. N. Y. med. Journal 1890.

genug. Die Dauer der Experimente ist meist nur eine sehr beschränkte und entbehrt daher des Vorteils eines gleichzeitig ausgeführten Stoffwechselversuches. In kurzdauernden Experimenten kommen auch etwaige Fehler der Änderung der Körpertemperatur als unangenehme Komplikationen sehr in Frage.

Das Bad als kalorimetrische Einrichtung.

An das Wasserkalorimeter schließt sich in dem Erfindungsgedanken die Anwendung des Bades zur Wärmemessung nahe an. Es lassen sich aber die Ergebnisse dieser Methodik nur schwer verallgemeinern oder gar auf die Verhältnisse der Wärmeproduktion beim Aufenthalte in Luft übertragen.

In den Jahren 1860 und 1861 veröffentlichte Liebermeister[1]) solche mit Bädern angestellte Versuche.

Die Badeversuche Liebermeisters sind entweder in der Weise ausgeführt, daß die Wärmeabgabe an das Badewasser bei gleichbleibender Körpertemperatur gemessen wurde, oder so, daß eine Person zuerst die Temperatur in der Achselhöhle maß, und dann sich in ein Bad begab, dessen Temperatur gleich der Temperatur der geschlossenen Achselhöhle war, wobei die Wärmeproduktion nach dem Steigen der Körpertemperatur berechnet wurde [2]). Es bedarf kaum einer weiteren Erörterung, daß die zweite Methode Liebermeisters für genauere Messungen nicht in Frage kommen kann, da sie ja zur Voraussetzung hat, daß der Wasserwert des lebenden Körpers, d. h. seine spezifische Wärme bekannt sei. Nun läßt sich ja die spezifische Wärme einzelner Organe an totem Materiale messen, es kann aber niemand genügend genau wissen, welche Zusammensetzung ein Lebender hat, vor allem macht der sehr variable Fettgehalt verschiedener Menschen eine solche Berechnung der spezifischen Wärme ganz illusorisch.

Die Badekalorimetrie wurde später auch von Leyden [3]) in kleinen Kalorimetern, für den Fuß (oder Arm) bestimmt, ausgeführt und selbst Berechnungen über die Gesamtwärmeproduktion abgeleitet. Es bedarf kaum eines Hinweises, daß diese sogenannte partielle Kalorimetrie auch nicht das geringste über die Gesamtwärmeproduktion aussagen kann. Läßt man Arm oder Bein bei kühlen Wassertemperaturen in einem solchen Kalorimeter, so strömt natürlich weit mehr Wärme ab, als unter normalen Verhältnissen auf Arm oder Bein entfallen waren, und eine Umrechnung auf den ganzen Körper ist schon deshalb ausgeschlossen.

Liebermeister beobachtete (35 Min.) vor dem Bad und (35 Min.) nach dem Bad den Gang der Temperatur des Wassers und erhielt aus den Mittelwerten beider die Korrekturengröße für den Wärmeverlust der Wanne während der Badeperiode. Der Gang der Körpertemperatur muß beobachtet werden, um Verlust von Wärme oder Aufnahme von Wärme aus dem Bade zu kontrollieren. Die Verdunstung des Badewassers war in derartigem Ex-

1) Physiol. Untersuchungen über die quantitativen Veränderungen der Wärmeproduktion, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1860, S. 520, 554; 1861, S. 28; 1862, S. 661.

2) Siehe: Zur Kenntnis der Wärmeregulierung v. Wold. Kernig. Inaug.-Diss. Dorpat 1864, S. 20.

3) Untersuchungen über das Fieber. Deutsch. Arch. f. klin. Mediz. V, 273, 1868.

periment nicht ausgeschlossen und liegt in der „Korrektion" mit inbegriffen. Es lassen sich eine ganze Reihe von Einwendungen gegen die Badeversuche machen, zunächst sind die Ausschläge des Temperaturzuwachses recht mäßige (bei etwa 150 l Wasserfüllung) und die Korrektur für die „Abkühlung" der Badewanne usw. an sich häufig erheblich im Verhältnis zur ganzen Variation der Temperatur des Badewassers. Verloren geht für die Wärmemessung zum mindesten die der ausgeatmeten Luft. Bei Variationen der Körpertemperatur müssen entsprechende Korrektionen für den Wärmeverlust oder Wärmegewinn des Körpers gemacht werden; diese Korrektion ist, wie erwähnt, unsicher, da a) die spezifische Wärme eines Individuums nicht genau bekannt ist, b) weil die mittlere, d. h. für alle Teile gültige Temperatur des Körpers sich überhaupt nicht exakt bestimmen läßt.

Es ist sicher, daß diese Bademethode mit einer Reihe von Mängeln behaftet ist, welche sie mehr oder minder ungenau machen; manche lassen sich aber abstellen, z. B. kann man die Menge des Badewassers geringer nehmen und somit die erhaltene Temperatur vergrößern. Man könnte auch m. E. durch doppelwandige, im Mantelraum mit Luft gefüllte Wannen, vor allem aber durch Aufgießen einer Ölschicht auf das Wasser die Wärmeverluste nach außen sehr herabsetzen. (Siehe auch Lefèvre, Quantité de chaleur perdue par l'organisme dans un bain froid; Bulletins de la société de la biologie, 1894, p. 450; er kommt auf diese Bademethode erneut zurück. Man wird aber auch nach Lefèvres Empfehlung keine Veranlassung haben, auf sie, als allgemeine Methode der Kalorimetrie, zurückzukommen, ein Umstand, der natürlich nicht abhalten soll, für spezielle Fragen der Balneotherapie unter geeigneten Verbesserungen, die oben angeführt sind, sich ihrer zu bedienen.)

Kastenkalorimeter.

Man hat zeitweilig sich bemüht, um die Anwendung der Kalorimetrie namentlich auf den Menschen zu ermöglichen, andere Konstruktionen, als die Wasserkalorimeter zu ersinnen.

Eine Reihe sehr einfacher Kalorimeter für Menschenversuche sind die Kastenkalorimeter[1]), sie haben das Gemeinsame, daß der Mensch sich in einem Raum von mehr oder weniger beträchtlichem Kubikinhalt (Kasten) befindet. Hirn verwandte einen Raum von 4 cbm Inhalt, der für seine Arbeitsversuche auch ein Tretrad eingebaut enthielt. Durch den Aufenthalt des Menschen steigt die Temperatur des Raumes, bis schließlich ein Gleichgewicht der Wärme entsteht und ebensoviel Wärme erzeugt, als nach außen verloren wird. Wenn dies erreicht war, atmete die Person bei Hirn einige Zeit hindurch Luft von außen durch eine Röhre ein und gab die veratmete Luft nach außen ab. Beide Luftproben wurden gemessen und analysiert.

Die Graduierung eines solchen Kalorimeters wurde von Hirn mit Wasserstoffverbrennung vorgenommen und gefunden, daß innerhalb seiner

1) Scharling, Journ. f. prakt. Chemie, XLVIII, S. 435, 1849. Vogel, Arch. d. Vereins für wiss. Heilkunde 1864. Hirn, Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur. Colmar 1858.



Versuchsbreiten der Wärmeverlust proportional mit der Temperaturzunahme stieg, pro 1^0 Temperaturanstieg also eine Konstante sich berechnen ließ, welche die Größe des Wärmeverlustes festzustellen erlaubte.

Die Methode hat ihre zahlreichen Bedenken, zunächst was die Eichung anlangt, dürfte schon die Unmöglichkeit den bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehenden Wasserdampf gleichmäßig zur Kondensation zu bringen, einen berechtigten Einwand geben. Viel größer wird aber die Ungenauigkeit sein, welche darin liegt, daß sich bei der Differenzberechnung zwischen Zimmer und Kastentemperatur erstere nur schwer exakt angeben läßt. Macht dieser Umstand doch schon bei kleinen Kalorimetern, die in einer verhältnismäßig gleichartigen Luftschicht liegen, sich geltend, so ist dies bei einem so großen Objekt, wie ein 4 cbm großer Kasten es ist, noch viel mehr der Fall. Die Luftschichten sind vertikal von meist sehr differenter Temperatur und den Einfluß der Wandtemperaturen eines Zimmers, der sehr großem Wechsel unterliegt, exakt zu bestimmen dürfte kaum möglich sein. Weiter ist die Feststellung der Kastentemperatur bei Anwesenheit des Menschen zweifellos mit Fehlern behaftet, allenfalls noch am besten wäre es, wenn für die künstliche Mischung der Kastenluft und die Benutzung eines gegen Strahlung geschützten Aspirationsthermometers gesorgt ist.

Solche Versuche können, wenn man keine Ventilation einführt, nur kurze Zeit währen, das ist für die meisten kalorimetrischen Experimente, wie schon gesagt, kein Vorteil. Durch den sich ansammelnden Wasserdampf werden von Minute zu Minute die Verhältnisse für die Erwärmung des Kastens andere und die Rückwirkung der Zunahme des Wasserdampfes auf die Versuchsperson ist ungünstig und führt zu allerlei Unbehaglichkeiten. Die Ansammlung der Atemgase kann gleichfalls auf den Ablauf der Wärmeproduktion störend wirken und sogar die Bluttemperatur zum Steigen bringen, eine sichere Bestimmung des von Menschen abgegebenen Wasserdampfes ist unmöglich.

Ventilationskalorimeter.

Die Kastenkalorimeter haben ihren Hauptnachteil in der Ventilationslosigkeit. Ventiliert man mit steigenden Luftquanten, so wird mehr und mehr Wärme in den Ventilationsstrom gebracht. Man verlegt dann die Wärmemessung mehr auf die Temperaturdifferenz der ein- und abströmenden Luft und wenn man das Kalorimeter selbst, um die unsichere Korrektur für den Wärmeverlust nach außen zu vermeiden, mit einem für Wärme schlecht durchgängigen Mantel versieht, so könnte noch eine Verbesserung der Methodik erzielt werden. Große Ventilationen erzeugen aber nach anderer Richtung einen schwerwiegenden Fehler, die Feststellung des Wasserverlustes wird fast zur Unmöglichkeit und damit fällt die praktische Anwendung eines solchen Systemes, denn ohne Messung dieser Größe ist eine Angabe des Wärmeverlustes im Sinne des Gesamtenergieverlustes unmöglich. Bis jetzt ist auch kein einziges brauchbares nach diesem Prinzip gebautes Instrument bekannt geworden.

In der Literatur wird vielfach das Anemokalorimeter d'Arsonvals erwähnt; es besitzt aber derartige offenkundige Mängel, daß es völlig unverständlich ist, warum es unter den wirklich messenden Instrumenten aufgeführt wird. Bei diesem Apparat ist ein kleiner, für den stehenden Menschen ein-

gerichteter Raum vorhanden[1].) Nicht die Wärme wird gemessen, sondern die Luftbewegung, welche durch die Erwärmung der den Menschen umgebenden Luft hervorgerufen wird. Der den Menschen umgebende Behälter ist oben zu einer Röhre verjüngt, an welcher ein Anemometer mit Zählwerk befestigt wird. Aus der Anzahl der Umdrehungen des Windrades wird auf die entwickelte Wärme geschlossen. Die Luftbewegung wird natürlich in einigem Zusammenhang mit der Wärme stehen, aber ein wirkliches Wärmemeßinstrument ist dieser Apparat nicht, um so weniger, als er wie so mancher andere auf die Wasserdampfabgabebestimmung ganz verzichtet.

Ein ganz ähnliches Instrument hat später Ignatowski angegeben.

Das Verdampfungskalorimeter.

Die Idee des Lavoisierschen Eiskalorimeters hat Rosenthal[2]) auf die Konstruktion eines Verdampfungskalorimeters übertragen. Der in Vorschlag

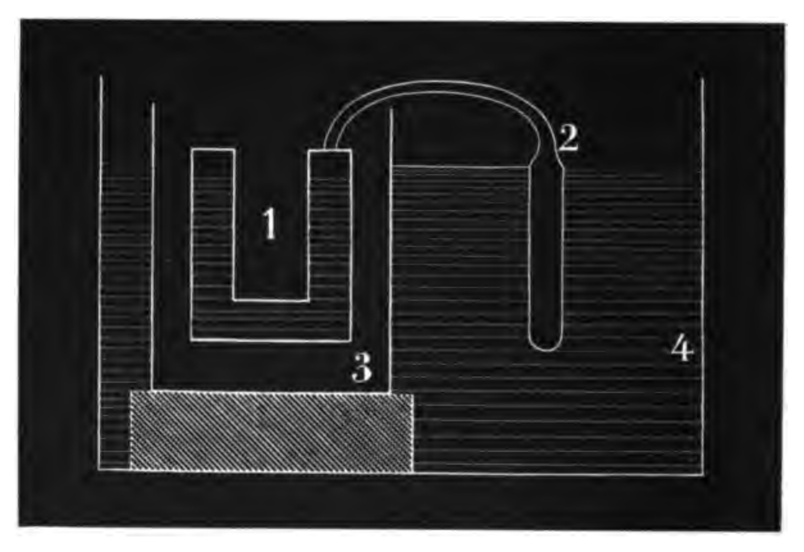


Fig. 14.

gebrachte Apparat besteht aus zwei Zylindern, die ineinander stecken, beide sind mit derselben Flüssigkeit gefüllt und liegen in einem mit Wasser gefüllten Kessel, dessen Temperatur durch Gasregulationsheizung konstant auf der Siedetemperatur der betreffenden Flüssigkeit (Azetaldehyd bei 21^0, Äthyläther bei 34.9^0) gehalten wird. Beide Zylinder sind mit Röhren, die mit Quecksilber gefüllt sind, abgeschlossen. In dem Inneren der beiden Zylinder ist ein Rohr aus Metall, in welches beim Versuch die Wärmequelle eingebracht wird, eingepaßt.

Bringt man ein Tier in diesen Raum, so wird es durch seine Wärme einen Teil der in dem einen Zylinder enthaltenen Flüssigkeit verdampfen,

1) D'Arsonval, L'anémocalorimètre. Arch. de physiol., T. 26, p. 360, 1894. desgl. T. 102, p. 217, 1904.

2) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1878, S. 349.



wenn die Wärme bis dahin vorgedrungen ist, und der Dampf schiebt die in der einen Glasröhre befindliche Quecksilbersäule vor sich her, deren zurückgelegte Wegstrecke ein Maß der verausgabten Wärme ist. Irgend welche Anwendung für biokalorimetrische Experimente scheint das Instrument bisher nicht gefunden zu haben.

Auf dem gleichen Prinzip beruht das Verdampfungskalorimeter von D'Arsonval[1]) (Fig. 14).

Das Kalorimeter (1) ist hohlwandig und mit einer zylindrisch-graduierten Röhre (2) absolut in dichter Verbindung, es enthält in diesem Hohlraum eine leicht verdampfende Flüssigkeit.

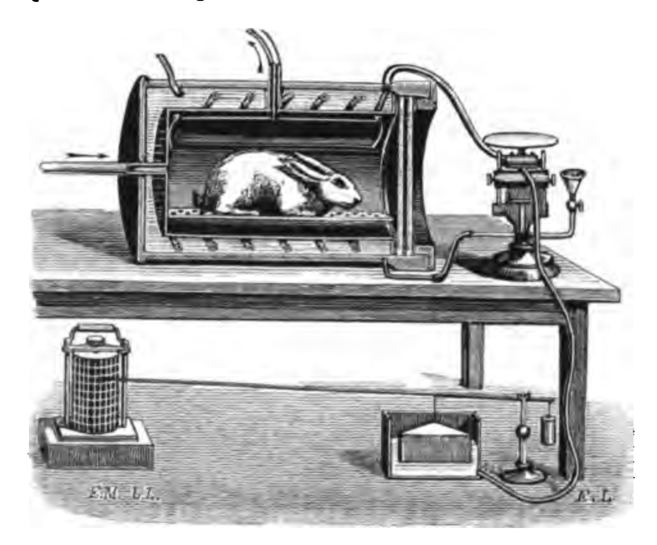


Fig. 15.

Das zylindrische doppelwandige Kalorimeter ist luftisoliert nach außen, durch den Hohlraum (3), die graduirte Röhre aber taucht in ein Wasserbad, das übrigens auch in einigem Abstand das ganze Kalorimeter als Schutzmantel umgibt.

Ist vorher ein Temperaturausgleich vorhanden und wird dann ein Tier od. dgl. in den Kalorimeterraum gebracht, so destilliert die verdampfende Flüssigkeit in das zylindrische Rohr im Wasserbehälter (4), aus dem Volum des Destillates wird die Wärme berechnet. Auch von diesem Instrument sind praktisch bedeutungsvolle Messungen nicht zu erwarten und nicht bekannt geworden.

Registrierendes Wasserkalorimeter für konstante Temperatur.

Ein eigenartiges Prinzip hat d'Arsonval bei seinem Kalorimeter mit konstanter Temperatur angewandt[2]).

1) Recherches de calorimétrie. Journ. de l'anat. et de la physiol. T. XXII, S. 113 (1886).

2) Recherches de calorimétrie. Journ. de l'anat. et de la phys. T. 22, p. 113, (1886.)



Das Kalorimeter ist zylindrisch und als Wasserkalorimeter gebaut. Durch den Wasserraum gehen zwei spiralig gewundene Röhren, deren eine bestimmt ist, die Ventilationsluft abzuführen und deren Wärme an das Wasser zu übertragen, (S. auch S. 195) während die zweite für Kühlwasser bestimmt ist, das zu zirkulieren beginnt, sobald die Temperatur des Kalorimeterwassers über die Anfangstemperatur steigt (Fig. 15).

Um diese Regulation zu ermöglichen, wird die Ausdehnung des Kalorimeterwassers beim Erwärmen benutzt, um eine Klemme zu öffnen und Eiswasser zulaufen zu lassen (Fig. 16); sinkt in Folge davon die Temperatur des Kalorimeterwassers, so schließt sich der Regulator durch Sinken der Walze (7), der Einlauf des Eiswassers hört auf. Das ablaufende Wasser sammelt sich in einem Gefäß mit Schwimmer, (Fig. 15) der einen Hebel

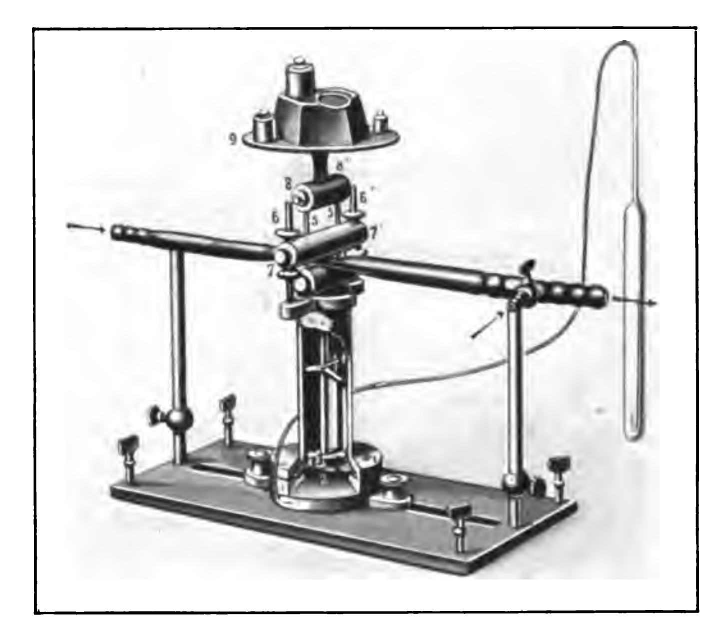


Fig. 16.

bewegt und die Volume des abgelaufenen Wassers auf eine rotierende Trommel aufschreibt; es wird also ein dem Volum des abgelaufenen Wassers gleiches Volum Wasser von 0° auf die Kalorimetertemperatur gebracht. Volum $\times$ diese Temperaturdifferenz gibt die Kalorien. Zur Voraussetzung muß gemacht werden, daß die Temperatur des Raumes, in welchem das Kalorimeter aufgestellt wird, nicht variiert, da sonst zu viel oder zu wenig Wasser durch den Regulator abläuft. Daher soll der Apparat in einen doppelwandigen, mit Wasser gefüllten, durch einen Gasregulator auf gleicher Temperatur gehaltenen Kasten aufgestellt werden.

Die Regulationseinrichtung für den Wasserstrom funktioniert trefflich, die Schattenseite des Instruments liegt in dem Erfordernis einer gleichbleibenden Temperatur der Umgebung, was namentlich bei längeren Versuchen

sich kaum realisieren läßt. Als Vereinfachung wurde später vorgeschlagen, die Schlange, durch welche die aus dem Apparat austretende Ventilationsluft durch das Kalorimeterwasser geleitet wurde, wegzulassen; dafür ist an der Decke des Innenraumes ein Blech angebracht, (Fig. 15) das die Luft zwingt, den durch das Blech und die Kalorimeterwand gebildeten Spalt zu durchsetzen, ehe sie die Abstromöffnung erreicht, dadurch soll eine genügende Abgabe der Wärme ans Kalorimeter erfolgen.

Auf ähnlichen Prinzipien beruht das Wasserkalorimeter von Lefèvre[1]). Das Kühlwasser strömt, statt durch Röhren, direkt in den Mantelraum, als Stromregulator dient ein in letzterem befindliches Rohr, mit Alkohol gefüllt, die Volumänderung setzt eine Regulationsvorrichtung, die nach Bedarf kühles Wasser nachtreten läßt, in Tätigkeit.

Der Apparat wird durch einen von einem Motor betriebenen Blasebalg ventiliert, von dem Triebrad geht eine Übertragung nach der oberen Fläche des Kalorimeters und schiebt, auf Schienen montiert, einen Mischer und den Schlauch für den Einlauf des kühlen Wassers hin und her. Die Temperatur des Kühlwassers und des ablaufenden Wassers wird dauernd kontrolliert.

Das Luftkalorimeter.

Die Einführung des Luftkalorimeters bedeutet einen wesentlichen Fortschritt der Kalorimetrie. Das Tier oder der Mensch befindet sich bei ihnen in einem doppelwandigen Metallbehälter, das ganze System hat also wenig Masse, erwärmt sich schnell und kühlt schnell ab. Indem die Wärme von einer Metallfläche durch die Luft zur andern wandert, nimmt die Luft selbst eine andere Temperatur an, und diesen Veränderungen gehen die Wärmemengen proportional. Der Luftmantel wird also sozusagen zum Luftthermometer.

Außer den durch die Wärme des im Kalorimeter befindlichen Organismus bedingten Veränderungen üben die Schwankungen der umgebenden Temperatur wie auch die Luftdruckschwankungen auf die Luftmasse des Kalorimeters einen Einfluß aus; wie man die durch diese Umstände bedingten Fehlerquellen vermeidet, davon später.

Luftkalorimeter sind im Jahre 1884 merkwürdigerweise von mehreren Autoren gleichzeig veröffentlicht worden.

Geigel[2]) hat im Jahre 1884 über eine in den Vorjahren ausgeführte Arbeit über die Bekleidung berichtet, in der er ein von Kunkel für den Arm des Menschen konstruiertes Luftkalorimeter verwendet hat. Es bestand aus einem doppelwandigen Blechzylinder der Form des Armes angepaßt; die Wärmemessung geschah durch Beobachtung der Verschiebung einer Flüssigkeitssäule in einem schwach geneigten Rohre, was eine sehr empfindliche Einrichtung ist. Das Prinzip des Luftkalorimeters ist also durch den Kunkelschen Apparat ganz deutlich gegeben.

Im gleichen Jahr haben auch d'Arsonval und Richet die Beschreibung von Luftkalorimetern publiziert, die in dem Grundgedanken der Instrumente,

1) Calorimétrie par double courant de compensations. Journ. de physiol. et de pathol. T. 4, p. 257, 411, 1902.
2) Wärmeregulation und Kleidung. Arch. f. Hyg. 1884 S. 322.

mit Kunkel übereinstimmen. Die beiden Autoren haben aber zwei verschiedene Lösungen der Wärmeregistrierung versucht.

Richets Calorimètre à siphon (Fig. 17) besteht aus einer Kombination zweier aus Messingröhren gewickelten hohlen Halbkugeln, die zusammengeklappt den kugelförmigen Hohlraum für das Tier bilden. Am besten füttert man den Hohlraum mit einem Drahtnetz, das auch aus zwei Halbkugeln besteht, damit die Tiere die Wandungen nicht direkt berühren. Die obere Halbkugel enthält eine Öffnung zum Eintritt von Luft.



Fig. 17.

Durch die Wärmeabgabe des Tieres wird die Luft in den Messingröhren ausgedehnt, das Ende der letzteren an jeder der Halbkugeln wird mit einem Schlauch an ein T-Stück angeschlossen und die einheitliche Leitung der sich ausdehnenden Luft zu einer Flasche mit dreifach durchbohrtem Pfropfen geführt. Die Flasche ist teilweise mit Wasser gefüllt. Die eine Durchbohrung dient zur Zuleitung der erwärmten und sich ausdehnenden Luft, die zweite dient für einen Heber, dessen anderes Ende beweglich ist und an einem mit einem Zahnrad versehenen Ständer auf und ab bewegt und so eingestellt werden kann, daß der Heber eine O-Stellung einnimmt: drückt dann Luft aus dem Kalorimeter nach, so fängt der Heber an zu wirken und das ausfließende Wasser, das Maß der entwickelten Wärme wird

in einer graduierten Röhre aufgefangen. Die dritte Durchbohrung enthält ein gerades Rohr, das bis ins Wasser der Flasche eintaucht. Hier können sich die Variationen des Luftdrucks abgleichen.

Dieses Kalorimeter von Richet kann nur für ganz kurz dauernde Versuche benutzt werden; eine Ventilation des Raumes und Bestimmung des abgegebenen Wasserdampfes läßt sich nicht ausführen. Das Instrument macht nur Angaben, solange die Wärmeabgabe des Tieres noch zunimmt, bei Wärmegleichgewicht strömt überhaupt kein Wasser mehr ab; etwaige vorübergehende Abnahme der Wärmeproduktion kann gar nicht gemessen

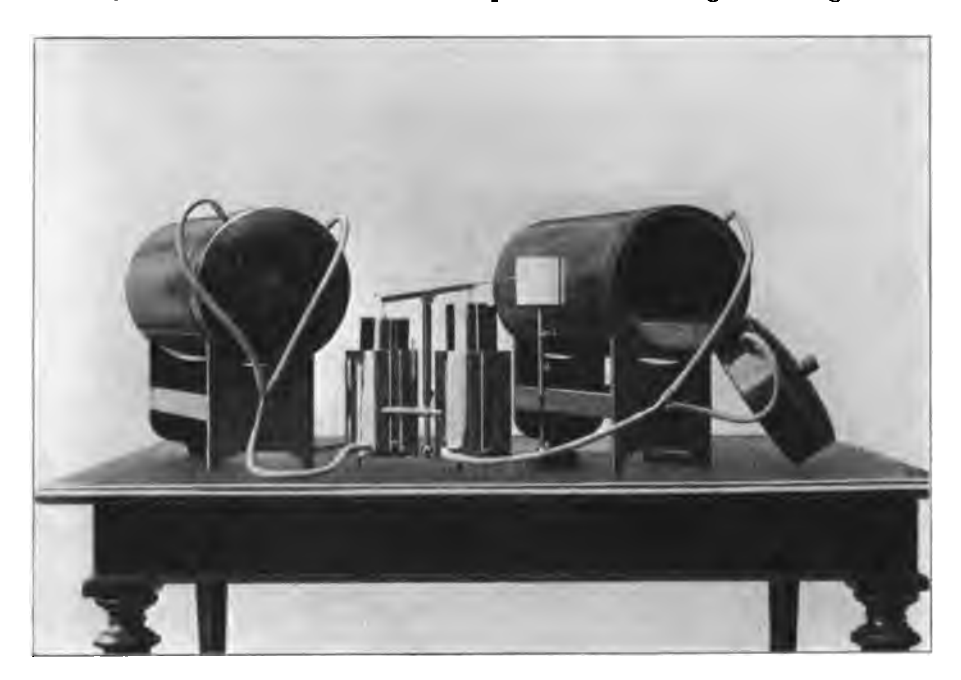


Fig. 18.

werden. Der Mangel liegt nicht im System des Luftkalorimeters, sondern in dem einseitigen Registrierungssystem der Wärmebildung, dessen Funktion nur so lange besteht, als Wärmegleichgewicht nicht vorhanden ist.

Brauchbarer in der Konstruktion ist die Methodik von d'Arsonval. Er wendet zwei ganz gleiche doppelwandige Zylinder an, die durch Deckel mit doppelten Wandungen geschlossen werden können. Die sich bei Erwärmung oder Änderung des Luftdruckes ausdehnende oder sich zusammenziehende Luft des Kalorimeters und des Deckels wird durch Kautschukverbindungen mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Manometer verbunden, und zwar werden beide Kalorimeter an ein Manometer angeschlossen.

Das eine Kalorimeter bleibt leer, das andere dient zur Aufnahme des Tieres, das erste gibt Druckveränderungen, wenn Temperatur des Raumes und Barometerdruck sich ändern, das zweite die gleichen Werte und außerdem die Veränderungen der Erwärmung und Ausdehnung der Luft, die

durch das Tier bedingt sind. Aus dem Steigen des Manometers kann also auf die Wärmeproduktion des Tieres geschlossen werden, und zwar nimmt der Druck proportional der Wärmemenge zu. Statt der manometrischen Messung hat später d'Arsonval zwei Gasglocken (Fig. 18), die an einem Wagebalken befestigt sind und in eine Flüssigkeit tauchen, benutzt. An dem einen Wagebalken ist ein Schreibhebel, der an einer rotierenden Trommel Aufschreibungen macht, befestigt.

Der von d'Arsonval angewandte Schreibapparat gibt nur brauchbare Resultate, wenn das Volumen der angewandten Kalorimeterlufträume absolut das gleiche ist, was zumeist nicht zutrifft und ja technisch nicht immer leicht zu erreichen ist. Sind die Hohlräume etwas different, so schreibt der

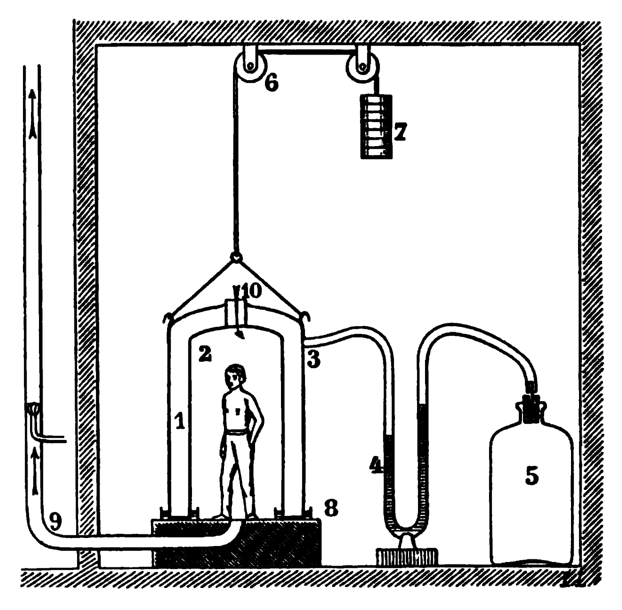


Fig. 19.

Registrierapparat im blinden Versuch keine geraden Linien, sondern eine geneigte. Wenn eine Wärmequelle im Apparat sich befindet, machen sich zwar die Ausschläge auf der Registriertrommel sofort sichtbar, doch weiß man bei längerdauernden Versuchen nur bei völliger Gleichheit der Gasglocken, mit welcher Abszisse man zu rechnen habe; für Versuche von kürzerer Dauer, wie sie d'Arsonval meist ausgeführt hat, kommt der Fehler weniger in Betracht. Ein Übelstand liegt in den starken Druckvariationen der Lufträume überhaupt, in kürzeren Zeiträumen können positive und negative Drucke von mehreren Zentimetern vorkommen, welche, abgesehen von der Gefahr des Rücksaugens von Flüssigkeit oder des Überfließens aus den Glocken nach außen, Verbiegungen der immerhin dünnen Metallwandungen herbeiführen können und jede kleinste Undichtigkeit verhängnisvoll machen.

In der angegebenen einfachen Form ist das Instrument für exakte

länger dauernde Messungen unanwendbar, zumal auch die Bestimmung der Wasserdampfabgabe nicht vorgesehen ist.

d'Arsonval[1]) hat auch ein größeres Luftkalorimeter gebaut (Fig. 19), das über einen Menschen gestülpt werden konnte; es wurde ventiliert durch ein Rohr, in welchem eine Gasflamme brennt, die frische Luft tritt bei einer Öffnung über dem Kopfe der Versuchsperson ein. Die Wärme wird durch den Ausschlag eines Manometers gemessen, das einerseits mit dem Mantelraum des Kalorimeters, andererseits mit einer geschlossenen Glasflasche verbunden ist. Dadurch werden die Einflüsse der Luftdruckschwankungen eliminiert.

Zur genauen Messung ist das Instrument in dieser Ausführung nicht zu gebrauchen, da weder eine exakte Messung der Lüftung möglich ist, noch auch auf die Wasserdampfausscheidung Rücksicht genommen ist. Rückwirkungen der umgebenden Temperatur sind gar nicht zu vermeiden und beeinflussen bei der großen Dimension des Luftraumes die Ergebnisse in ganz unkontrollierbarer Weise.

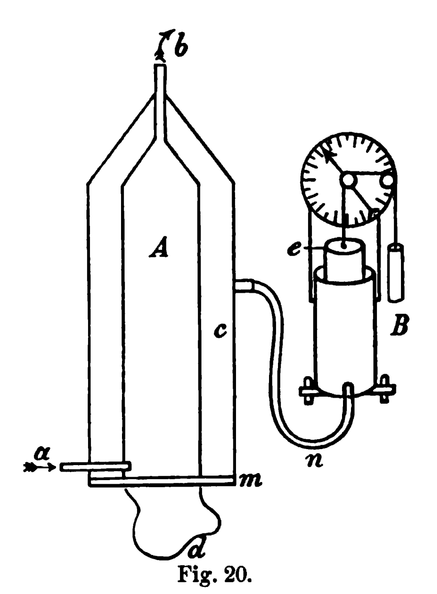


Fig. 20.

Ein Luftkalorimeter einfacher Art hat Verfasser 1889 angegeben[2]), die Konstruktion desselben entwickelte sich aus der Frage des Wärmeschutzes durch die Kleidung und knüpfte an die Konstruktion der oben erwähnten, von Kunkel und Geigel benutzten Apparate an. Die ersten Instrumente waren zur Wärmemessung am menschlichen Arm gebaut.

Die Kalorimeter waren ventilierbar, und der Wasserdampf bestimmbar, sie hatten zylindrischen Bau (Fig. 20). Verschieden von den anderen Luftkalorimetern ist der Meßapparat, er besteht aus Volumetern, d. h. in Petroleum getauchten, aus feinem Kupfer hergestellten Zylindern, die durch ein mittels einer Schnur befestigtes Gegengewicht gehalten werden. Die eine der Rollen, um welche die Schnur gleitet, ist mit einem langen Zeiger versehen, der vor einer in Grade eingeteilten Scheibe sich bewegt. Bei jeder Ausdehnung und Zusammenziehung der Luft im Mantelraum des Kalorimeters bewegen sich diese leichten Zylinder fast ohne Widerstand. Dadurch, daß an Stelle der Druckmessung die ausschließliche Messung von Volumen gewählt wurde, war die Empfindlichkeit des Kalorimeters außerordentlich gesteigert und keinerlei Gefahr vorhanden, daß durch Spannungen der Metallwände etwa Undichtigkeiten entstanden.

Für Tierversuche erhielt das Kalorimeter eine aufrechte Stellung, das Tier ruhte auf einer wärmeundurchlässigen Unterlage. Das Verschlußstück,

1) (D'Arsonval, Recherches de calorimétrie. Journ. de l'anat. et de la physiol. T. 22, 1886, p. 113.

2) Zeit. f. Biol., Bd. XXV, S. 400, 1889.

auf dem das Gefäß zum Auffangen von Harn und Kot sich befand, wurde mit Öl gefüllt, damit etwaige Ausscheidungen des Tieres sofort vor Verdunstung geschützt wurden.

Die Ventilation geschah durch eine Gasuhr, deren Trommelachse angetrieben werden konnte, die Wasserbestimmung für kurzdauernde Versuche mittels Saussurschen Haarhygrometers im Ein- und Abstrom. Dies ist ein wohl brauchbares Verfahren, wenn man über exakte Instrumente verfügt.

Das eine Kalorimeter diente dem Tiere zum Aufenthalt, das andere als Kontrolle für Temperatur und Barometerdruck. Derartige Instrumente haben für eine ganze Reihe von Untersuchungen praktische Verwendung gefunden.

Für absolute Messungen konnten die Kalorimeter durch ein in den Hohlraum des Einen gebrachtes Metallschlangenrohr, das von warmem Wasser durchströmt wurde, geeicht werden. Bestimmt man Einfluß- und Ausflußtemperatur und Wassermenge, so ergibt sich daraus ohne weiteres die aufge-

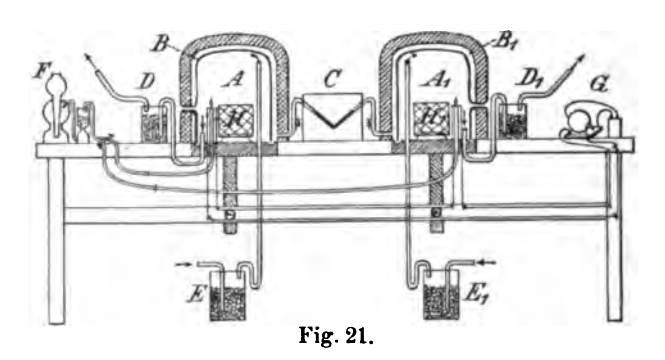


Fig. 21.

wandte Kalorienmenge, welche mit den Ausschlägen der Volumeter zusammen betrachtet, den Eichungswert pro 1° Ausschlag berechnen läßt. Die blanke Messingoberfläche solcher Kalorimeter muß möglichst rein gehalten werden, damit die Konstante der Eichung sich nicht ändert.

Ein Kalorimeter Rosenthals[1]) schließt sich in allen wesentlichen Teilen an jenes von D'Arsonval an, er verwendet ein Doppelkalorimeter, dessen Angabe auf ein Manometer übertragen wird. Die Eichung geschah mit Wasserstoff, wie in den älteren Versuchen von Hirn (s. d. S. 190).

Haldane, White und Washburn[2]) haben eine Modifikation der Luftkalorimeter angegeben, die von Interesse ist (Fig. 21). Zwei Instrumente, nach außen mit Filz bekleidet, befinden sich nebeneinander, ihre Mantelräume sind durch ein empfindliches Manometer (C) verbunden. In dem einen Kalorimeter befindet sich das Tier, im anderen eine Wasserstoffflamme, die stets so reguliert wird, daß das Manometer auf Null bleibt, dann ist soviel Wärme aus Wasserstoffverbrennung entstanden, als durch das Tier entwickelt wurde.

1) Arch. f. Physiol. 1889.
2) An improved form of animal calorimeter. Journ. of Physiol. Vol. 16, p. 123, 1894.

In beide Apparate tritt vorher über Schwefelsäure getrocknete Luft (Fig. 21 E, E 1), die Ventilation ist für beide Kalorimeter gleich, die abströmende Luft gibt ihren Wasserdampf an Schwefelsäure ab (D, D 1), der verbrannte Wasserstoff wird bestimmt aus dem Gewichtszuwachs des mit konzentr. Schwefelsäure gefüllten Absorptionsapparates.

Der Apparat kann nur bei fortwährender Bedienung in Funktion gehalten werden, da ein ständiges Regulieren der Wasserstoffflamme nötig ist.

Gleichzeitige Beobachtungen über die Respiration der Tiere sind möglich (l. c. p. 138).

Respirationskalorimeter für Dauerversuche von Rubner.

Die bisher beschriebenen Kalorimeter sind sämtlich für die bedeutungsvollen und grundlegenden Fragen der Kalorimetrie nicht ausreichend gewesen, vor allem haben sie keine Möglichkeit zu wirklichen Dauerversuchen geboten. Handelt es sich namentlich im Vergleich mit Stoffwechselvorgängen um brauchbare Mittelwerte, so ist die Anforderung zu stellen, daß ein Kalorimeter 24 stündige ununterbrochene Versuche gestatten muß. Es ist weiter erforderlich, daß solche Instrumente eine ständige Überwachung nicht erfordern, sondern automatisch mit größtmöglicher Entlastung des Experimentators arbeiten.

Ein Kalorimeter dieser Art muß alle Formen des Wärmeverlustes quantitativ messen, also vor allem die von anderen Experimentatoren so sehr vernachlässigte Bestimmung der Wasserdampfabgabe lösen. Ich habe zuerst die gesetzmäßigen Beziehungen der Luftfeuchtigkeit zur Wasserdampfabgabe und zum Energieverbrauch der Tiere experimentell nachgewiesen [1]).

Damit waren die Grundlinien für die Behandlung der Wasserdampfverhältnisse im kalorimetrischen Versuche gegeben.

Jede Variation der Luftfeuchtigkeit innerhalb eines recht ansehnlichen Temperaturintervalls ändert zum mindesten die Angaben des Kalorimeters in dem Sinne, daß an trockenen Tagen weniger, bei feuchter Luft mehr Wärme gefunden wird, z. B. wechselten zwischen 26 %—70 % relativer Feuchtigkeit, die an das Kalorimeter übertragenen Wärmen zwischen

219,6 kal (trockene Luft)
und 243,4 „ (feuchte Luft).

Bei größeren Feuchtigkeitsdifferenzen werden die Differenzen noch größer, bis zu 30 % und mehr. Will man von solchen mehr zufälligen Schwankungen der kalorimetrischen Messung unabhängig sein, so muß die Luft auf gleicher relativer Feuchtigkeit gehalten werden.

Die Schwankungen der Luftfeuchtigkeit ändern aber innerhalb eines sehr weiten Temperaturgebietes nichts an der Gesamtwärmeproduktion. Wo also in trockener Luft das Kalorimeter kleine Angaben macht, gleicht die latente

1) Die Beziehungen der atmosphärischen Feuchtigkeit zur Wasserdampfabgabe. Arch. f. Hyg., Bd. XI, S. 137, 1890. Stoffzersetzungen und Schwankungen der Luftfeuchtigkeit, ebd. S. 213. Thermische Wirkungen der Luftfeuchtigkeit, ebd. S. 255. Schwankungen der Luftfeuchtigkeit bei hohen Temperaturen in ihrem Einfluß auf den tierischen Organismus, Arch. f. Hyg., Bd. XVI, S. 101, 1893.



Wärme des verdunsteten Wassers dieses Mehr gegenüber dem Versuch bei feuchter Luft völlig ab [1]).

Wegen der Vernachlässigung der Messung des Wasserdampfes und der Feuchtigkeitsregulierung ist ein großer Teil der von den verschiedensten Beobachtern gemachten kalorimetrischen Messungen unexakt und indiskutabel.

Bei höheren Lufttemperaturen ist die Feuchtigkeit auch für den gesamten Kraftwechsel von Bedeutung, da der letztere mit zunehmender Feuchtigkeit auch ansteigt, ohne daß es zunächst etwa zu einer durch Anwachsen der Körpertemperatur nachweisbaren Wärmestauung käme.

Der abgegebene Wasserdampf ist eine hervorragende Quelle des Wärmeverlustes des Tieres und des Menschen; man muß also ebendieselbe Genauigkeit der Wasserdampfbestimmung wie die der Wärmemessung des Kalorimeters erreichen, die Wasserdampfbestimmung ist ein wesentlicher Teil der Kalorimetrie überhaupt. Sie es auch um deswillen, weil sie im Vergleich zur gesamten angegebenen Wärme ein Bild der Art der Wärmeregulation liefert.

Kondensationen des Wasserdampfes sind im kalorimetrischen Versuch bei meinem Kalorimeter leicht zu vermeiden, da alle Teile des Kalorimeterraumes fast von gleicher Temperatur sind; man scheidet ihre Möglichkeit aber noch dadurch aus, daß man Luft von geringer relativer Feuchtigkeit zur Ventilation benutzt.

Nur für besondere Aufgaben werden in das Kalorimeter Apparate zur Messung der Arbeitsleistung (Dynamometer) einzubauen sein.

Reichliche gute Ventilation ist jeder starken Anhäufung der Ausatemprodukte unbedingt vorzuziehen, sie ist auch gleichmäßig zu gestalten, da bei Tieren bereits insensible Luftströmungen den Stoffwechsel steigern können [2]).

Das vom Verfasser konstruierte, zu quantitativen Versuchen benutzte Kalorimeter vereinigt in sich den kompletten Apparat zur Wärmemessung, sowie zur Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäure, des Wasserdampfes und bietet die Möglichkeit der indirekten Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffs. Es können sonach alle, namentlich für die Erforschung biologischer Prozesse, notwendigen Messungen zu gleicher Zeit vorgenommen werden.

Wenn man einen Vergleich mit den früher besprochenen Luftkalorimetern machen will, so müßte man dieses Instrument als ein unter Wasser versenktes Kalorimeter bezeichnen. Das Korrektionskalorimeter ist vollkommen beseitigt und durch einen besonderen Korrektionsapparat ersetzt, welcher die Temperaturschwankungen des Wassers, in dem das Kalorimeter versenkt ist, sowie die Luftdruckschwankungen anzuzeigen hat.

Ich sehe zunächst von dem Respirationsteil des Kalorimeters ab und gehe zur Skizzierung des Kalorimeters, welche das Schema, Fig. 22, erleichtern wird, über.

Der Kalorimeterraum R, welcher zur Aufnahme einer Wärmequelle dient, ist im Vertikalschnitt wie Horizontalschnitt rechteckig gestaltet, mit etwas abgestumpften Kanten, höher als breit. Die Längsachse ist horizontal.

1) Arch. f. Hyg., XI, 1890, S. 137—221; ebd. 244—254 u. S. 255—290.
2) Rubner, Arch. f. Hyg., L, S. 296. 1904.



Den Verschluß bildet eine luftdicht aufschraubbare Tür (T). Diesen Raum R umgibt an allen Stellen, die Tür ausgenommen, ein Mantel aus Kupferblech (M), die zur Bewegung der Volumeter nötige Luftmenge einschließend.

Der ganze dem ursprünglichen Luftkalorimeter entsprechende Teil des Apparates wird von einem zweiten Mantel, gleichfalls aus Kupferblech, umgeben, so daß der Isolierraum (J) entsteht.

Das System der Mantelräume ist an dem Eingang in den Kalorimeterraum fest verlötet und in ein Wasserbad (W) von großen Dimensionen versenkt, doch so, daß eine Seite des Wasserbades behufs Kommunikation mit dem Kalorimeterraum durchbrochen wird (bei T).

Das bei den früheren Versuchen mit dem Hauptkalorimeter in seinen Dimensionen identische Korrektionskalorimeter wird durch den Korrektionsapparat ersetzt. Letzterer besteht aus 4—5 kupfernen Hohlkörpern von rechtwinkligem Querschnitt (C). (Fig. 22 führt deren nur vier auf), welche in dem zwischen Kalorimeter und Wasserbadwandung bleibenden Raume versenkt sind. Die Hohlkörper kommunizieren durch Röhren untereinander und eine Ableitung führt die Luft nach einem Korrektionsvolumeter.

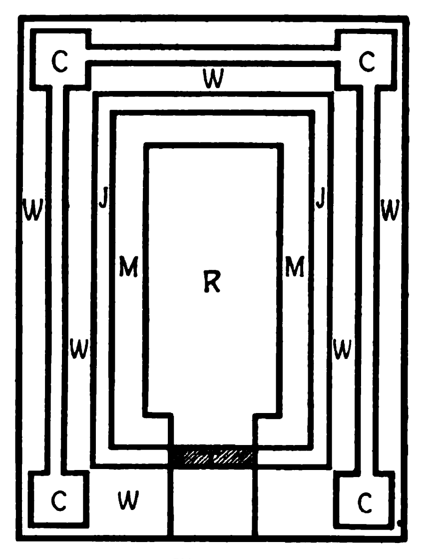


Fig. 22.

Man lasse Kalorimeterraum und Korrektionsraum von annähernd gleichen Dimensionen herstellen, alle Lötungen in Hartlot.

Das Wasserbad, in welches das Kalorimeter wie der Korrektionsapparat eingebettet ist, wird ständig auf gleicher Temperatur erhalten und dadurch eine Korrektion, die sonst störend wirkt, fast vollständig beseitigt, so daß im allgemeinen als Korrektionswerte nur die Schwankungen des Barometerdrucks in Frage kommen.

Nach der im vorstehenden allgemeinen Beschreibung des Kalorimeters will ich die wesentlichsten Teile desselben noch besonders besprechen, da das Gelingen der Versuche auch von richtiger Anordnung des Details abhängig ist.

Der Wasserraum besteht aus einem großen aus Kupfer hergestellten Gefäß von rechteckigem Querschnitt, am Vertikalschnitt sind die unteren Kanten abgerundet. Um das Verbiegen der Wandungen zu verhindern, umgeben den Kupferbehälter starke Eisenbänder. Bedeckt ist der Behälter von einer schweren eisernen Platte, welche in Zapfen der Eisenbänder eingreift. Die seitlichen Bänder werden noch außerdem durch drei über den Deckel zu klappende, an den Zapfen der seitlichen Bänder durch Schrauben zu befestigende Eisenstäbe festgehalten.

Der kupferne Behälter hat sechs Füße und ist so hoch gestellt, daß unter dem Kalorimeter ein Gasbrenner bequem Platz findet.

Nahe dem Boden befindet sich an der Stirnseite des Apparates ein messingener Abflußhahn weiter Bohrung, um das Wasser bequem aus dem Wassermantel ablassen zu können; an dieser Seite des Apparates befindet sich auch ein Eingang in den Kalorimeterraum, der durch eine Tür absolut luftdicht zu verschließen ist. Letztere besteht aus einem kräftigen kupfernen Rahmen, in welchem in dem Abstande von etwa 2 cm zwei Spiegelscheiben befestigt sind. Zwischen den Spiegelscheiben befindet sich also ein geschlossener Hohlraum.

Der Kupferrahmen selbst hat 16 Durchbohrungen, welche für den Durchtritt von ebensoviel Schrauben bestimmt sind. Mittels Flügelmuttern wird die Tür fest auf eine Gummidichtung aufgepreßt.

Zwei durch Messingklappen verschraubbare Durchbohrungen des Türrahmens dienen zur Einleitung von Gasen oder für elektrische Zuleitungen oder für die Zuleitung von Flüssigkeiten. Die Oberfläche der Tür beträgt weniger als 10 % der gesamten Innenfläche des Kalorimeters.

In dem Wassermantel sind alle wesentlichen Teile des Kalorimeters untergebracht; er selbst wird auf beliebiger, aber während der Versuchszeit vollkommen gleichmäßiger Temperatur gehalten.

Die Temperaturregulierung ist eine zweifache. Der Mantelraum besitzt einen Kaltwasser- und einen Wärme-Leuchtgasregulator.

Der Kaltwasserregulator ist ein modifizierter Soxhletscher; er besteht aus einem 25 cm langen zylindrischen Körper, der sich oben zu einer Röhre verjüngt, letztere ist in ihrem Mittelteile um eine horizontale Achse S-förmig gekrümmt und erweitert sich sodann wieder in axialer Richtung trichterförmig.

Der Körper des Regulators enthält Methylalkohol, der S-förmige Teil Quecksilber. Der trichterförmige Aufsatz ist für die Regulation des Wasserstromes bestimmt.

Der Trichter hat seitlich ein Abflußrohr und der ihn abschließende Kork zwei Durchbohrungen. Durch eine derselben strömt Wasser in den Trichter ein und verläßt denselben wieder durch einen Glasheber, der gleichfalls durch den Kork gesteckt ist. Der Heber reicht mit seiner Mündung tiefer als das seitliche Abflußrohr an dem Trichter. Daher strömt, solange der Heber offen ist, kein Wasser aus der seitlichen Öffnung des Trichters.

Wird der Regulator erwärmt, dann treibt der sich ausdehnende Methylalkohol das Quecksilber vor sich her, bis dieses den Heber schließt; sodann läuft kaltes Wasser aus dem Seitenrohr und dieses Wasser wird in den Mantelraum des Kalorimeters zur Kühlung geleitet. Folgt eine Abkühlung des Regulators, dann öffnet das Quecksilber den Heber, das Wasser fließt durch diesen ab, ohne mit dem Kalorimeter in Berührung zu kommen. Der Heber trägt an seinem außerhalb dem Trichter gelegenen Ende ein kleines oben durchlöchertes Glasgefäß. Dadurch wird ein vollständiges Ablaufen des Hebers vermieden. Die Regulation ist eine ganz vorzügliche, reicht aber natürlich nur für bestimmte Grenzen. Wenn man Versuche bei sehr hoher Zimmertemperatur und niedriger Kalorimetertemperatur oder mit sehr bedeutenden Wärmequellen anstellen will, so genügt die unseren Regulator in maximo durchströmende Wassermenge nicht zur ausreichenden Kühlung.

In solchen Fällen leitet man direkt in den Mantelraum kaltes Wasser der Leitung. Der Regulator besorgt unter diesen Umständen nur die feinere Einstellung.

Die Beibehaltung einer gleichen Temperatur muß jedoch noch durch eine zweite Reguliereinrichtung gewährleistet werden.

Der Apparat trägt einen Soxhletschen Gasdruckregulator, welcher, um vom Barometerdruck abhängige Schwankungen zu vermeiden, gleichfalls wie der Kaltwasserregulator mit Methylalkohol gefüllt wird.

Unter dem Kalorimeter ist ein doppelarmiger Mikrobrenner aufgestellt, welcher die zur Regulation notwendige Wärme dem Apparat zuführt.

Der Wasserraum des Kalorimeters trug ursprünglich eine komplizierte Rührvorrichtung, welche durch eine Kraft in beständiger Bewegung erhalten werden sollte. Es stellte sich aber alsbald das Überflüssige einer solchen Einrichtung heraus. Die Temperatur des Apparates zeigte trotz Mischens keinerlei Veränderung, so daß wir auf jede ständige mechanische Rührvorrichtung verzichten konnten. Wir haben an dem in 0,05° geteilten Thermometer nach dem Mischen nie eine andere Temperatur wie vordem gefunden. Die Gleichmäßigkeit der mit unserer Regulationseinrichtung erreichbaren Temperatur ist eine staunenswerte. Wir haben vollkommen selbsttätig dieselbe sich viele Wochen hindurch auf 0,1° vollkommen genau erhalten sehen. Wir erhalten also eine Gleichmäßigkeit der Temperatur, wie dies für die in Frage stehenden Zwecke bis jetzt unerreichbar war. Die Temperaturmessung des Wassermantels erfolgt durch ein feines in 0,05° geteiltes Thermometer, welches tief in das Wasser eintaucht.

Der Versuchsraum hat 66 cm Länge, 45 cm Höhe und 28 cm Breite. 10 cm über dem Boden ist ein aus dünnen Holzstäben hergestelltes Gerüst, auf welches sich die Tiere zu legen haben. Ein Teil dieses Gerüstes kann leicht herausgenommen und nach Tierversuchen nachgesehen werden, ob keinerlei Verschmutzung durch Harn oder Kot stattgefunden hat.

Eine direkte Berührung der Wandungen ist durch ein Zinkdrahtnetz, welches im Abstand von 2 cm dieselben an allen Seiten bedeckt, zur Unmöglichkeit gemacht. Der Versuchsraum ist im Innern mit einer dünnen Lage Eisenlack überzogen. An der Decke mündet das Rohr der einströmenden Luft, nahe dem Boden findet die Ableitung der Abstromluft statt. Letzteres Rohr wird noch besonders durch ein feineres Drahtnetz vor dem Ansaugen von Haaren geschützt.

Die Temperatur der einströmenden wie abströmenden Luft wird in unmittelbarer Nähe des Kalorimeters durch ein in 0,05° geteiltes Thermometer gemessen. Diese Ablesungen brauchen nur in großen Zeiträumen gemacht zu werden, für die Nacht z. B. genügt oft ein Mittelwert aus der letzten Abend- und der ersten Morgenablesung.

Über den Mantelraum (M) selbst, sowie über den Isolierraum, ist wenig weiter zu sagen; die äußere Fläche des Mantelraumes besteht aus reinem Kupfer, den Isolierraum habe ich mit zwei Öffnungen versehen, welche von Zeit zu Zeit zur Prüfung auf die vollkommene Wasserdichtheit des Isolierraumes benutzt werden. In der Regel tragen die Öffnungen je ein Chlorkalziumrohr als Aufsatz.

Einer sehr sorgfältigen Bearbeitung bedürfen die Volumeter. Die Zylinder sollen aus dem dünnsten Kupferblech hergestellt werden; die Rollen für die Äquilibrierung und der Zeiger sind aus Aluminium gefertigt und auf eine möglichst geringe Reibung Rücksicht genommen. Der geringste zur Bewegung notwendige Druck oder Zug beträgt 0,04 mm Wasser.

An dem Äquilibrierungsgewicht der Volumeter befestigt, gleitet in zwei Stäben als Führungen ein kleiner Rahmen mit Schreibfeder und schreibt die Kurven auf rotierende Zylinder, die genau im Lot stehen.

In kurzdauernden Versuchen von 2—4 Stunden benutzt man die graduierte Scheibe der Volumeter direkt zu Ablesungen; diese Werte sind um das 3,7—3,8 fache größer als die geschriebenen Exkursionen.

Die Verbindung der Volumeter mit dem Mantelraum und dem Korrektionsapparat wird durch Kautschukschläuche, welche mittels T-Stück ein seitliches Anblaserohr besitzen, vermittelt. Die Anblaseleitung wird durch einen Geislerschen Glashahn geschlossen; sie dient zum Anblasen und Absaugen von Luft aus den Volumetern mittels eines Gummiballons. Während dieser Operationen wird mittels Quetschhahns die Kommunikation mit dem Mantelraum und Korrektionsapparat aufgehoben.

Um namentlich im Winter an die Wärmeregulierung der Kalorimeter keine zu großen Anforderungen zu stellen, ist das Zimmer durch eine selbstregulierende Gasheizung auf konstante Temperatur gebracht.

Das Kalorimeter ist zu dem Zwecke der Untersuchung der Respirationsprodukte mit einer hierzu geeigneten Einrichtung versehen. Ein Situationsbild gibt Fig. 23: im Vordergrund das Kalorimeter; rechts an der Wand die registrierenden Volumeter, im Hintergrund der Respirationsapparat mit seinen 4 Gasuhren, links die regulierende Gasheizung des Zimmers. Die Wahl des zu benutzenden Systems des Respirationsteiles ergibt sich leicht; alle mit dem Kalorimeter zu lösenden Aufgaben, gehören sie den Lebensprozessen oder Verbrennungsprodukten zu, erfordern eine reichliche Versorgung mit frischer Luft und sehr bedeutende Mengen von Ventilationsluft. Man kann daher am besten das von Pettenkofer zuerst durchgeführte Prinzip der Untersuchung eines Teilstromes verwenden.

Als Triebwerk für die Gasuhr hat sich ein Elektromotor, der sich durch beliebige Widerstände leicht in seiner Geschwindigkeit variieren läßt, vollkommen bewährt. Fig. 23 läßt noch die ältere Einrichtung des Triebwerkes durch ein Wasserrad erkennen.

Im Bedarfsfalle läßt sich auch der Gang der Gasuhr mittels eines automatischen Schreibapparates andauernd kontrollieren.

Die Entnahme des Teilstroms der Ventilationsluft geschieht mittels Quecksilberpumpen, in einer nach dem kleineren Pettenkoferschen Respirationsapparat modifizierten Weise.

Die Volumeter und Registriertrommeln werden in unmittelbarer Nähe des Apparates auf einer Konsole an der Wand befestigt, welche womöglich massiv und vollkommen erschütterungsfrei sein soll. Bestrahlung durch einen Heizkörper oder durch die Sonne muß vermieden werden.

An das Kalorimeter schließt sich der Respirationsteil eng an. Die austretende Luft gelangt durch ein kurzes Rohr zur großen Gasuhr; der Teilstrom, welcher die zur Untersuchung zu verwendende Luft abzuleiten hat,

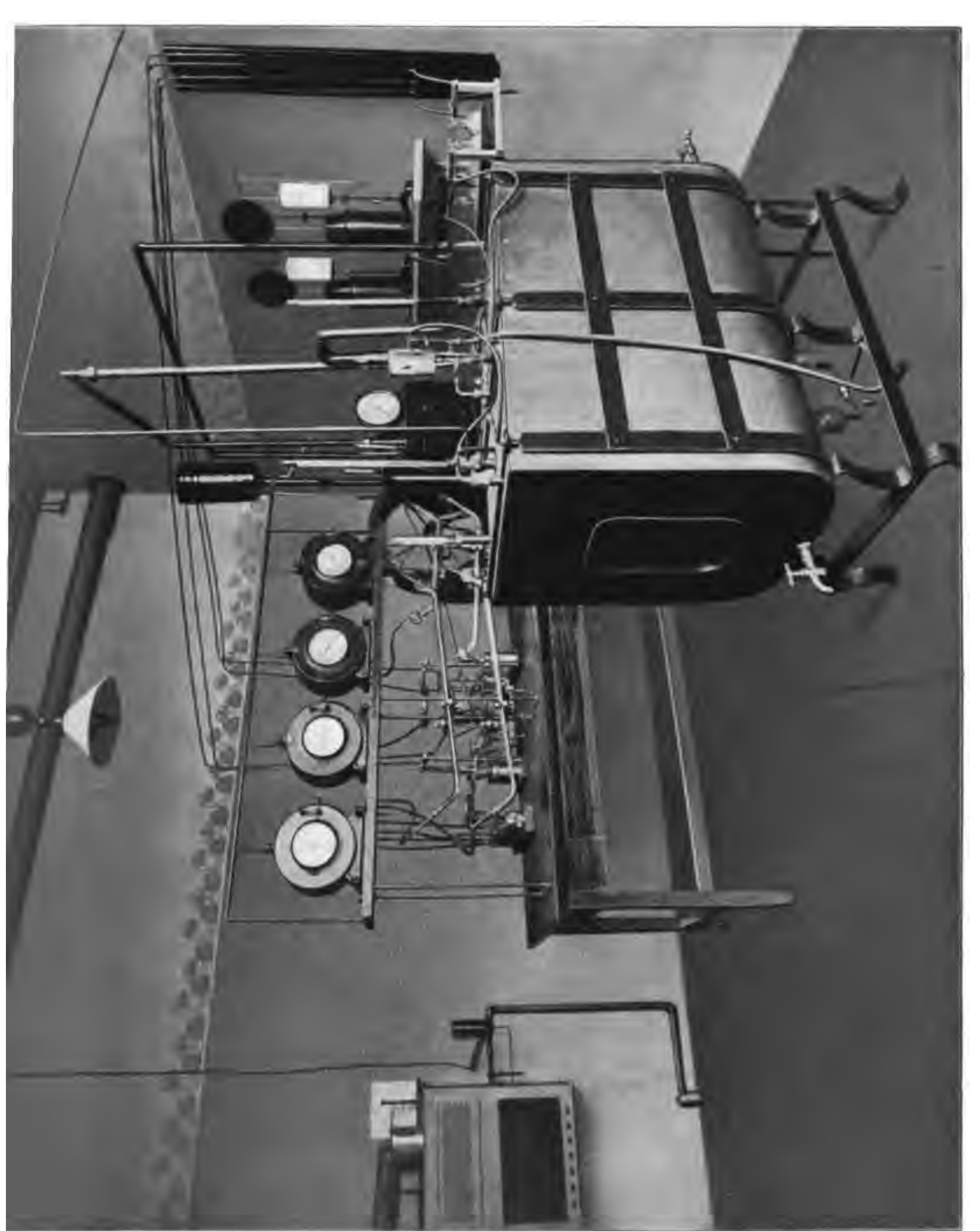


Fig. 23.

wird unmittelbar vor dem Eintritt der zuströmenden und unmittelbar nach dem Austritt der abströmenden Luft weggenommen.

Durch diese kurze Leitung, welche den Einstrom wie Abstrom mit den Schwefelsäure-Bimssteinkölbchen verbindet, wird eine Kondensation von Wasserdampf in der Zweigleitung, welche die allergrößten Fehler hervorrufen könnte, gänzlich vermieden.

Von dem Schwefelsäurekölbchen gelangt die Luft in einer Glasröhrenleitung nach den Quecksilberpumpen, welche den Teilstrom absaugen, sodann nach den mit nassen Bimssteinstücken gefüllten Fläschchen, welche als Befeuchtungsapparat dienen, von hier nach den Barytröhren zur Abgabe der Kohlensäure und nach den Gasuhren, in denen schließlich die Größe des zur Untersuchung benutzten Teilstromes gemessen wird.

Hat der Apparat in allen seinen Teilen eine richtige Aufstellung gefunden, so muß der kalorimetrische wie respiratorische Teil auf seine Genauigkeit geprüft werden. Als die erste und wichtigste Aufgabe ist zunächst die Vergleichung der beiden Volumeter zu bezeichnen. Die zuverlässigste Methode ist die Beobachtung der Schwankungen des Luftdrucks; denn die Schwankungen des Barometerdrucks sind in beiden Volumetern synchron.

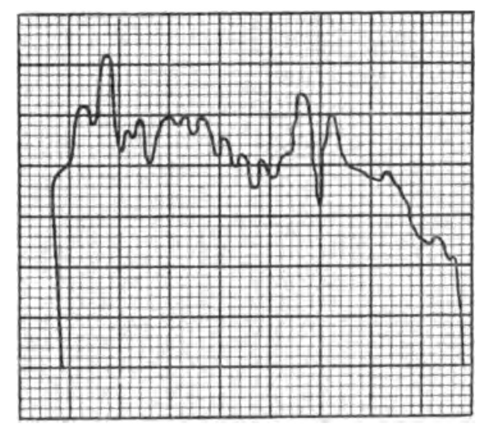


Fig. 24.

Hat man die Änderungen der Stellung des Volumeters bei einem blinden Versuch graphisch darstellen lassen, so wird das Millimeterpapier von dem Zylinder abgenommen und mittels eines Planimeters gemessen. Mit den gewonnenen Verhältniszahlen beider Volumeter, die als Mittelwerte von 20—30 ganztägigen Versuchen gewonnen sind, lassen sich die Angaben des Korrektionsvolumeters auf das Mantelraumvolumeter umrechnen.

Das Kalorimeter kommt etwa nach Ablauf einer Stunde ins thermische Gleichgewicht.

Die Empfindlichkeit des Instrumentes ist eine sehr weitgehende, es prägen sich alle Schwankungen einer Wärmequelle genauestens in den Diagrammen aus. Um dies näher zu erläutern, sei die graphische Darstellung eines Verbrennungsversuches mit einer gewöhnlichen Talgkerze wiedergegeben; die Kurve (Fig. 24) zeigt uns alle Schwankungen der Wärmebildung, wie sie mit dem Länger- und Kürzerwerden des Dochtes verbunden zu sein pflegen, in einem 16stündigen Versuch aufs allergenaueste. Wenn ein Tier im Kalorimeter unruhig ist und Bewegungen ausführt, so lassen sich solche sofort an dem Gange der Volumeter erkennen.

Zur Gewinnung von Werten nach absolutem Maße muß nun festgestellt werden, wie vielen Wärmeeinheiten 1° der Volumeter oder 1 qcm bei Flächenmessungen entspricht.

Das Instrument muß, wie jedes der Kalorimeter, innerhalb der praktischen Verwendungsgrenzen geeicht werden. Eichungen mittels Verbrennung

von Öl, Alkohol, Gas sind immer mit kleinen Unsicherheiten behaftet. Die Anwendung des Wasserstoffs bedingt bei dessen gewaltiger Verbrennungswärme besondere Maßregeln betreffs seiner Reinheit, die Bestimmung des verbrannten Wasserstoffs aus der Menge des erzeugten Wassers ist zweifellos unbequem und bietet manche Fehlerquellen.

Eine gemessene Wärmemenge läßt sich am einfachsten an den Apparat übertragen, wenn man denselben nach Art einer Warmwasserheizung beheizt.

Behufs Durchführung der Konstantebestimmung sind an meinem Kalorimeter in dem Kupferrahmen der Tür zwei Öffnungen angebracht. Durch eine derselben wird mittels des Ansatzstückes, welches das Einstromthermometer trägt, Wasser durch das im Kalorimeterraum befindliche Metallrohr geleitet. Das Wasser tritt bei einer anderen Öffnung der Tür aus dem Kalorimeter, wird mittels des Abstromthermometers gemessen und läuft durch den nachfolgenden Hahn nach einem Auffanggefäße.

Das warme Wasser wird in einem durch einen Soxhletregulator regulierten Bassin erzeugt, welches hoch steht. Die Teilstücke mit den Thermometern sind mittels Watte gut isoliert. Der Wasserstrom selbst wird genau reguliert.

Während der Versuchszeit (von 2 Stunden) wird dann das Einstrom- und Abstromthermometer, die Ventilation abgelesen, die Größe derselben bestimmt und die Notierungen des Volumeterstandes vorgenommen. Hieraus lassen sich die definitiven Eichungswerte ableiten.

Nachfolgend stelle ich solche Eichungswerte des Kalorimeters zusammen.

No.	Wärmeabgabe des Wassers in Kal.	Wärme nach Abzug des Verlustes mit der Ventilation	Wärme nach Abzug des Verlustes[1]) aus der Leitung	Ausschlag in ° des Volumeters	Für 1° trifft für 2 Stunden in Kal.
1	35,2	34,9	32,2	287	0,1122
2	37,4	36,6	32,8	292	0,1126
3	36,0	35,6	33,3	296	0,1124
4	36,1	35,8	33,6	293	0,1147
5	37,5	36,6	34,2	304	0,1125
6	38,4	38,1	35,4	311	0,1138
7	40,9	40,1	36,0	311	0,1157
8	39,2	38,9	36,2	306	0,1183
9	39,6	38,7	36,3	305	0,1188
10	40,1	39.2	36,7	319	0,1151
11	40,1	39,2	36,7	319	0,1151
12	41,8	41,5	38,7	333	0,1162
13	53,0	52,2	42,5	364	0,1167
14	61,7	60,9	58,8	511	0,1150
15	63,2	62,5	59,0	514	0,1148
16	62.9	61,7	59,2	505	0,1172
17	65,8	64,3	60,1	510	0,1178
18	70,1	69,1	60,9	536	0,1136
19	67,8	66,2	62,0	542	0,1143
20	75,4	74,3	65,8	572	0,1150
21	76,8	75,8	67,1	571	0,1171
22	88,3	86,6	82,5	731	0,1127
23	91,0	89,7	85,3	739	0,1154
24	109,3	108,1	91.8	805	0,1140
25	122,3	121,3	105,4	930	0,1133

1) Verlust von den Thermometern bis zum Eintritt des Rohres in die Türe.

An Stelle des Wasserstromes wird man heutzutage lieber den elektrischen Strom zur Eichung des Kalorimeters anwenden. Die in der Zeiteinheit entwickelte Wärme (W) des Stromes ist

$$W = \frac{J^2 R \times 3600}{9,81 \times 424}$$

J = Amperemenge, R = der Widerstand. Am besten benutzt man zur Eichung geschwärzte Glühlampen, deren Widerstand genau bestimmt sein muß.

Es mag noch angefügt sein, daß bei einer Eichung mittels verbrennenden Materials auch die Größe des erzeugten und zur Verdunstung gelangten Wasserdampfes bekannt sein muß. Eingehende Versuche hierüber sind in meinem Laboratorium von E. Cramer angestellt worden[1]). 7—10 % der Wärmebildung des Beleuchtungsmaterials entfallen auf Wasserdampfbildung.

Der Respirationsteil des Apparates muß gleichfalls, wie das Kalorimeter, auf seine Genauigkeit geprüft werden.

Dieser Forderung ist v. Pettenkofer zuerst bei einem Apparate dadurch gerecht geworden, daß durch Verbrennung von Stearinkerzen von bekanntem Kohlenstoffgehalt dem Luftraum eine gewisse Menge Kohlensäure zugeführt und mit der in dem Respirationsversuche gefundenen verglichen wurde. Späterhin hat man auf die exakte Eichung der Gasuhren besonders Rücksicht genommen und die Angaben eines solchen Apparates auch hinsichtlich der Bestimmung des Wasserdampfes genauestens kontrolliert.

Da sowohl der kalorimetrische wie der Respirationsteil des Apparates automatisch funktioniert, ist die Überwachung eines Experimentes eine wenig anspruchsvolle Arbeit, eine Beaufsichtigung während der Nachtstunden entbehrlich. Die Dauer eines Versuches beläuft sich auf 22 Stunden, 2 Stunden sind zur Abkühlung des Kalorimeters und zu den sonstigen Vorbereitungen nötig. Verfasser hat ununterbrochene Versuchsreihen von mehreren Wochen ausgeführt.

Für manche Aufgaben kann es notwendig sein, auch den Sauerstoffkonsum direkt zu bestimmen, da die indirekte Methode Pettenkofers und Voits nicht eine für alle Fälle nötige Genauigkeit besitzt. Für diese Zwecke hat der Respirationsteil im Jahre 1905 einige Abänderungen erfahren, die kurz erwähnt sein mögen[2]).

Die nach dem System Pettenkofer gegebene Einrichtung entnimmt frische Luft aus dem Freien und läßt die verbrauchte Luft aus der Ventilationsuhr abströmen.

Zur Bestimmung des Sauerstoffs wurde dagegen in Anlehnung an die Versuchsanordnung von Regnault und Reiset der Luftstrom in einen Kreisstrom umgewandelt. (Siehe das Situationsbild Fig. 23.)

Die Luft strömt aus dem Kalorimeter für Ventilationszwecke nach der großen Gasuhr und von dieser zurück zum Kalorimeter. Zu diesem Kreisstrom ist ein zweiter mit einer Absorptionsvorrichtung für Kohlensäure und Wasser-

1) Arch. f. Hyg., X, 1890, S. 283 ff.

2) Ein Apparat war ausgestellt 1907 gelegentlich des internat. Kongresses für Hygiene u. Demographie zu Berlin.

dampf nebengeschaltet. Letztere besteht in einem Körtingschen Ventilator, welcher mit 7% Natronlauge betrieben wird.

Beide Kreise stellen gewissermaßen eine 8 dar; während die Luft im Kohlensäureabsorptionsteil in sehr lebhafter Bewegung ist, bewegt sich der Ventilationskreislauf innerhalb der üblichen Grenzen, und entführt nur mäßige (gemessene) Mengen von Wärme aus dem Kalorimeter.

Der durch Wasser- und Kohlensäureabsorption entstandene negative Druck reguliert automatisch den Sauerstoffverbrauch.

Der Regulator (Fig. 25) besteht in folgender Einrichtung.

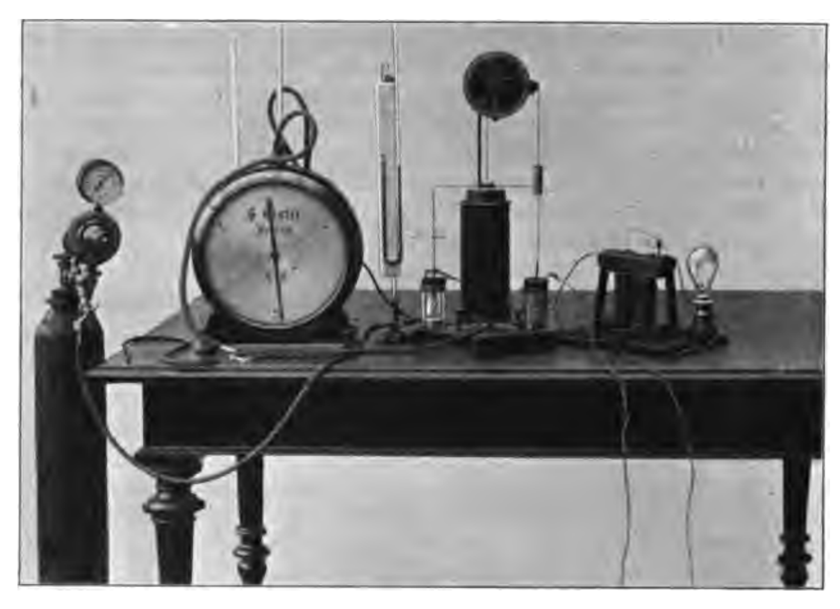


Fig. 25.

Mit dem Kalorimeterraum in Verbindung steht eine Röhre, die zu einem Volumeter führt, dieses trägt einen isolierten Kupferbügel, der r. u. l. von demselben in zwei Quecksilbernäpfe taucht; sinkt das Volumeter, so wird eine Stromverbindung hergestellt.

Zu diesen Quecksilbernäpfen führt eine Zuleitung des Straßenstromes, welche — unter Zwischenschaltung einer Glühlampe — einen starken Elektromagneten speist. Letzterer zieht einen Eisenkern mit Bleigewichten an, der vorher einen darunter liegenden Kautschukschlauch komprimiert hatte, der Kautschukschlauch seinerseits leitet Sauerstoff zu. Eine Sauerstoffbombe mit doppeltem Reduzierventil dient als Reservoir, von dort geht der O-Strom nach einer feinen in ccm eingeteilten Gasuhr, ein Quecksilbermanometer läßt den Druck ablesen, wenn das Abströmen des O gehindert ist. Die Hemmung liegt vor der Gasmessung.

Da das O-Stromrohr (nach der Gasuhr) zu gleicher Zeit mit dem Volumeter verbunden ist, so gestaltet sich das Spiel der Regulation wie folgt: Ein schwacher negativer Druck (weniger als 1 mm Wasser) läßt das Volu-

meter sinken, der elektrische Kontakt tritt in Tätigkeit, O strömt durch die Gasuhr (unter gewöhnlichem Druck) nach dem Kalorimeter und bei Druckabgleich sofort nach dem Volumeter, hebt den Kontakt auf und schließt den O-Strom. Die Funktion ist also ganz automatisch.

Am Schluß des Versuches werden Proben der Kalorimeterluft zur Analyse weggenommen, ebenso Proben des Sauerstoffs der Bombe, der ja einige Prozent Stickstoff einzuschließen pflegt. Der Sauerstoffverbrauch in 24 Stunden kann durch Wägung der Bombe kontrolliert werden.

Alle Gasuhren sind mit Paraffinum liquidum statt Wasser gefüllt.

Die Analyse der Luft auf Kohlensäure und Wasserdampf erfolgt nach dem Pettenkoferschen Teilstromprinzip, aber als Kreisstrom, d. h. die entnommenen Teilproben gehen erst durch die Schwefelsäurekölbchen, dann durch Barytwasser und frei in das Rohr, das die Luft aus der großen Gasuhr in das Kalorimeter zurückführt, über. Es wird also stetig die einströmende Luft und die abströmende Luft analysiert, es ist daher über diesen Teil der Analyse nichts weiter zu sagen. Durch das Teilstromprinzip wird vermieden, daß alle Kohlensäure und alles Wasser gesammelt und in unförmlichen Apparaturen bestimmt werden muß.

Das Respirationskalorimeter von Atwater und Benedict.

Das Kalorimeter von Atwater und Benedict ist das erste Instrument, das für die Untersuchung des Menschen zu längeren Versuchen gebaut worden ist. Es hat mancherlei Veränderungen erfahren, die vor kurzem zusammenfassend mitgeteilt worden sind und im Detail eingesehen werden müssen, da eine eingehende Beschreibung der vielen Einzelheiten an dieser Stelle nicht gegeben werden kann [1]).

Das Respirationskalorimeter von Atwater, Rosa und Benedict lehnt sich im Grundgedanken an das Calorimètre à température constante von D'Arsonval an; es entfernt den durch das wärmende Objekt in einer Kammer entstandenen Wärmezuwachs nach außen. In der Konstruktion ist es aber von d'Arsonval ganz abweichend.

Der Versuchsraum besteht aus einem doppelwandigen Metallkasten, innen aus blankem Kupfer, außen aus Zink, und einer oder zwei Holzwänden mit Luftisolierung (Fig. 26).

Zwischen den Metallwänden sind Thermoelemente angebracht, deren Lötstellen die Temperatur des Zinks und der Kupferwand mit einem Galvanometer verfolgen lassen. Der Unterschied soll Null sein, d. h. keine Wärme durch die Wandung gehen.

Von den Thermoelementen geht die Leitung an ein Schaltbrett, an welchem ein Beobachter an Galvanometern dauernd den Gang der Temperatur der Wände des Kalorimeters überwacht, und entweder auf elektrischem Wege durch Drähte, die im Mantelraum gespannt sind, etwas Wärme erzeugt oder durch Eiswasserzirkulation in einem Röhrensystem ihre Abkühlung herbeiführt, bis wieder kein Temperaturgegensatz zwischen den Metallwänden vorhanden ist.

1) Respirationskalorimeter for studying the respiratory exchange etc. By F. G. Benedict and Th. M. Carpenters. Washington. Carnegie Institution 1910.



Die vom Versuchsobjekt erzeugte Wärme wird durch Wasser weggenommen, das an den inneren Wandungen des Versuchsraumes in Rippenrohren

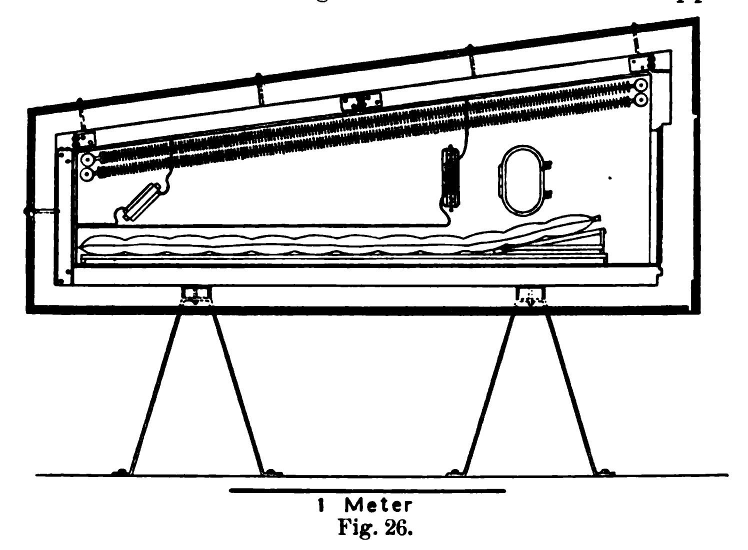


Fig. 26.



Fig. 27.

zirkuliert. Dies ist der eigentliche d. h. wesentliche kalorimetrische Akt, die Temperaturzunahme des in den Rippenrohren strömenden Wassers gibt die Kalorienmenge an.

Die einströmende Luft muß sorgfältig reguliert und im Ein- und Abstrom auf ihre Temperatur geprüft werden[1]. Sie nimmt natürlich auch einen kleinen Teil der Wärme auf.

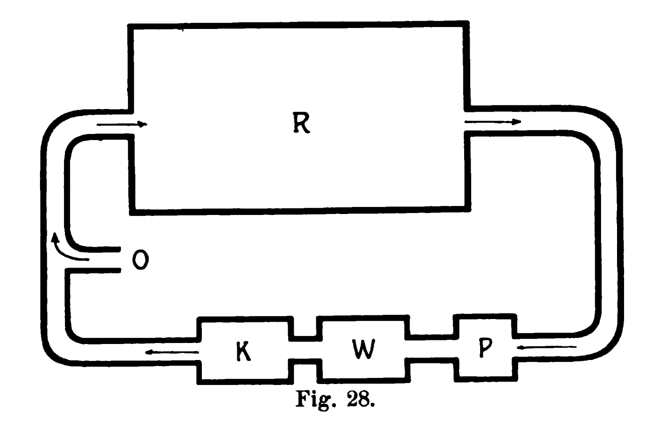


Fig. 28.

Fig. 27 gibt das ganze Situationsbild eines solchen Kalorimeterzimmers, Fig. 26 das eines vereinfachten Apparates für eine liegende Person, bei H

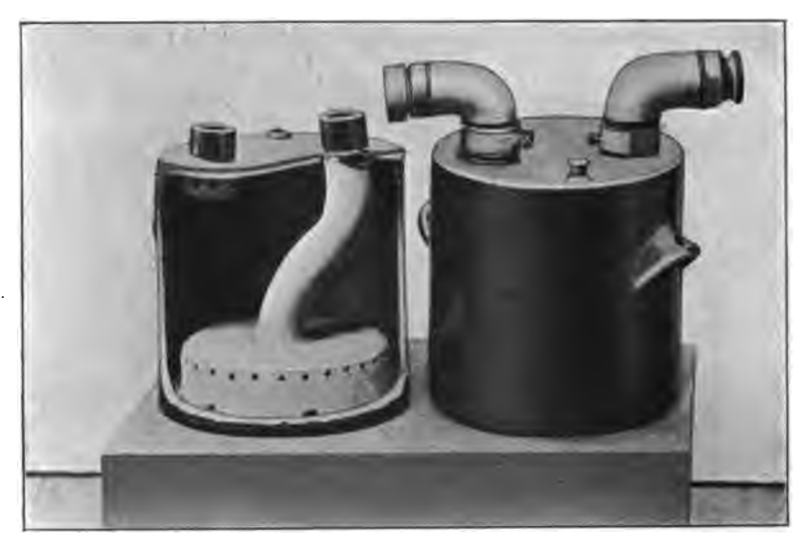


Fig. 29.

in Fig. 27 sind die Rippenrohre, die durch einen Aluminiumschirm S d etwas verdeckt oder auch frei gemacht werden können.

Der Respirationsteil ist nach System Regnault-Reiset als Kreisstromapparat gebaut (siehe Schema, Fig. 28).

1) Siehe Atwater u. Benedict, A respiration calorimeter with appliances for the direct determination of oxygen. Washington 1905.

Die Luftzirkulation wird durch eine Rotationspumpe (P) vorgenommen. Die Luft tritt in einen Raum zur Wasserabsorption (W), dann in ein Gefäß zur Kohlensäureabsorption (K), wieder in Schwefelsäure zur Nachtrocknung und zunächst in den Apparat, der Sauerstoff wird durch einen auf Druckdifferenzen reagierenden Regulator zugelassen.

Die Absorptionsgefäße für Wasserdampf (gefüllt mit konzentrierter Schwefelsäure) sind in den Fig. 29 und Fig. 30 im Querschnitt und im Situs zu sehen; die Kohlensäure wird in ähnlichen Behältern in Kalilauge oder feuchtem

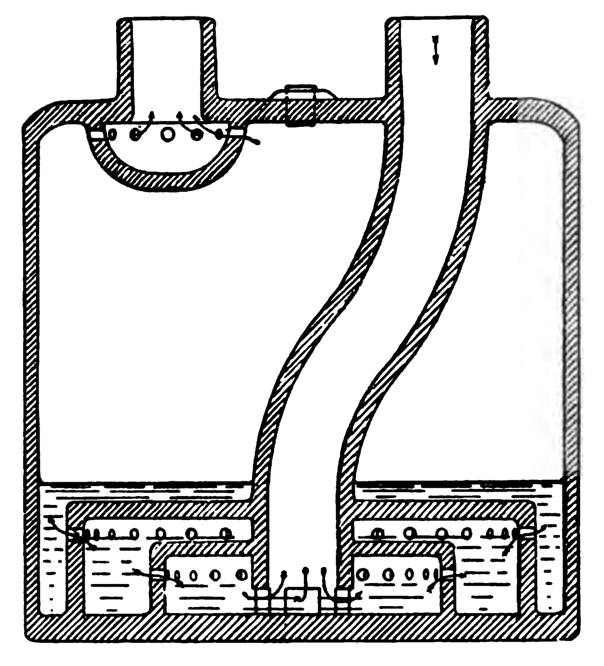


Fig. 30.

Natronkalk absorbiert; da solche Luft aber meist riecht, so wird sie noch durch einen Behälter mit Bikarbonat gepreßt.

Das Gesamtbild des Absorptionsapparates in seiner Montage zeigt Fig. 31, die Pumpe bei F, die Absorptionsgefäße 1, 2 für konzentrierte Schwefelsäure, K für die Kohlensäure, g für das Bikarbonat.

Der Sauerstoffkonsum wird bestimmt aus dem Gewichtsverlust der Sauerstoffbomben, aus welchen der Sauerstoff durch Regulatoren zugeleitet wird (und unter Analyse der Kastenluft), das Wasser durch Wägen des Schwefelsäureapparats, die Kohlensäure gleichfalls durch Wägung, was bei den großen Lasten natürlich besondere Wagen erfordert. Die Ergebnisse sind trotz der Kompliziertheit der Einrichtung ganz befriedigend. Das Respirationskalorimeter von Atwater und Benedict verlangt aber eine dauernde Überwachung durch ein zahlreiches, völlig geschultes Personal.

Die Mikrokalorimetrie.

In der Biologie gibt es ein wenig in Angriff genommenes Gebiet, für welches die Kalorimetrie einen bedeutungsvollen Ausblick eröffnet. Zunächst erwähne ich die Wärmemessung bei kleinen Lebewesen, vor allen solchen, bei denen man die Stoffwechselgleichungen nicht kennt und keine Aussicht hat, sie baldigst aufzuklären. Hier kann die Kalorimetrie dazu dienen, die Lebensäußerungen und Bedingungen näher zu schildern und verständlich zu machen, ja die energetische Methodik ist die einzige, welche vorläufig überhaupt anwendbar ist.

Die Kleinlebewelt bietet den Vorteil, daß bei ihr „Retentionen" der Wärme gar nicht in Frage kommen, andererseits aber das Eigenartige

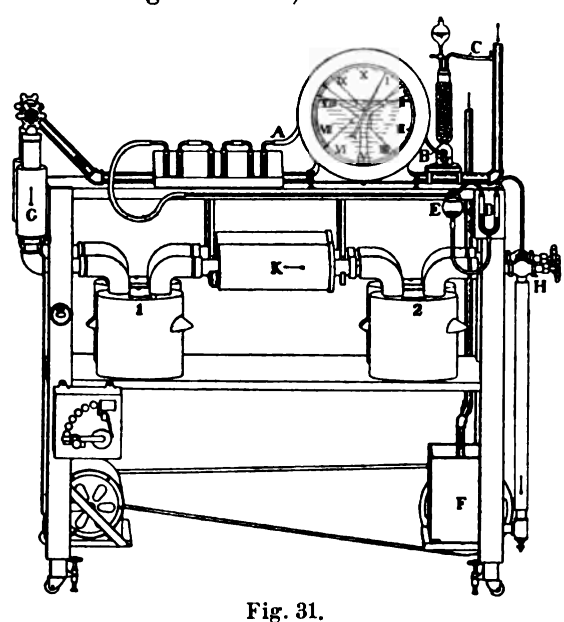


Fig. 31.

wieder, daß bei ihrem kleinen Körpermaß die Wärmegröße ganz verschiedener Natur ist, daß ferner ihre Lebensvorgänge nach Stunden und Tagen abgegrenzt kaum Interesse bieten, ja manchmal langgedehnte Zeiträume für die Untersuchung herangezogen werden müssen. So ergibt sich von selbst, daß die bisherigen Methoden auf diese Lebensprozesse keine Anwendung finden können, sondern besondere, die ich die Mikrokalorimetrie nennen will, gefunden werden müssen.

Die Bestimmung kleinster Wärmemengen hat übrigens auch für die Physiologie der Warm- oder Kaltblüter einiges Interesse, da wenigstens für ausgeschnittene Organe die Anwendung kalorimetrischer Methoden wohl in Betracht kommt. In dieser Beziehung wird man das Nähere bereits bei Bürker, II. Bd., 3. Abteilung behandelt finden.

Ich habe daher hier nur weniges einzufügen, im wesentlichen eine Methode, welche sich auf die Feststellung jener kleinen Wärmemengen bezieht, die sich bei der Entwicklung der Eier bei der Bebrütung nachweisen lassen.

Das Kalorimeter von Bohr und Hasselbach.

Eine besondere Methode zur Messung kleiner Wärmemengen haben Bohr und Hasselbach für das Studium der Wärmeproduktion des Hühnereies während der Entwicklung des Embryo angewandt[1]. In einem großen, mit dicken Wandungen und Polsterungen versehenen Thermostaten von 1 Meter Seitenlänge befindet sich isoliert ein Kupferkasten (K) nach Art eines Trockenschrankes gebaut, innen matt schwarz, außen blank (Fig. 32). Die Luft im großen Thermostaten, wie in dem kleinen, wird durch Windflügel, die mit einem elektrischen Motor betrieben sind, gemischt.

Die Erwärmung des Kastens geschieht durch 70 m Widerstandsdraht an den Seiten im Innern des Thermostaten, der kleinere Kupferkasten ist durch Metallschirme (S) gegen die Bestrahlung geschützt, ein Regulator regelt den Strom durch die Wärmespiralen (in der Figur beiseite gelassen).

Nach den Erfahrungen des Verfassers ist es von wesentlicher Bedeutung, den Ventilator gleichmäßig laufen zu lassen, da sonst durch die Reibung der Luft Unterschiede der Temperatur auftreten können.

Das eigentliche Kalorimeter befindet sich im Innern des Kupferkastens, es sind zwei ganz gleiche Kupferzylinder, verbunden durch Konstantendraht, (k) der mitten an der Seite jedes der Kalorimeter fest gelötet ist, an der entgegengesetzten Seite des Kalorimeters ist noch ein Kupferdraht angelötet.

Diese Drähte werden abgeleitet zu einem Galvanometer (g). Wird eine Konstanten-Kupferlötung erwärmt, so entsteht ein Ausschlag.

Fig. 32.

Um diese wärmemessenden Kupferzylinder ist in einigem Abstand nochmals ein zweiter darüber gestülpt, um eine weitere thermische Isolierung zu erzielen.

In das eine Kalorimeter wird das Ei (Fig. 32 rechts) gebracht, im andern befindet sich eine Drahtspirale (Fig. 32 links), durch welche ein gemessener elektrischer Strom geführt wird, bis das Galvanometer (g) auf Null steht. Außerdem könnten aus dem Kalorimeterraum des Eies die Gase zur Analyse durch eine Leitung entnommen werden. l. c. S. 410.

Es läßt sich die Menge der erzeugten Wärme in befriedigender Weise messen, die Messung erfolgt nicht kontinuierlich, sondern in bestimmten Zeitintervallen, was für die vorliegende Aufgabe durchaus zulässig ist, zumal die Wärmebildung im Ei selbst gleichmäßig verläuft, auch Wärmereten-

1) Skandin. Arch.. Bd. XIV, 1903, S. 398.

tionen und Wärmeabgabe unter Erniedrigung der Eitemperatur nicht in Frage kommen können.

Mit der gleichen Aufgabe der Bestimmung des Energieumsatzes im Ei hat sich auch Tangl[1]) beschäftigt, indem er eine größere Anzahl von Eiern ausbrüten ließ und nach bestimmten Zeiten einzelne Eier wegnahm, trocknete und deren Verbrennungswärme untersuchte.

Die Mikrokalorimetrie nach Rubner.

Weiter ausgearbeitet ist die Mikrokalorimetrie für das Studium der niederen Pilze. Hier tritt ihre Bedeutung besonders dadurch klar hervor, daß man Mittel, den Stoffwechsel quantitativ zu untersuchen, gar nicht oder sehr selten besitzt; der Stoffwechsel selbst ist unendlich wandelbar, weil diese Organismen unter den verschiedenartigsten Bedingungen leben können und in der Wahl der Nahrungsstoffe oft stufenweise vorgehen, heute aufzehren, was sie gestern liegen gelassen haben.

Respirationsprodukte, welche erlauben, den Kraftwechsel zu verfolgen, fehlen völlig, denn da z. B. auch bei anaerobem Leben Kohlensäure ausgeatmet wird, kann diese zur Deutung der Stoffwechselvorgänge nicht benutzt werden, weil die Stoffwechselgleichungen unbekannt sind, und manchmal die Kohlensäure nur Folge des Auftretens organischer Säuren, also die Austreibung von Kohlensäure aus den Karbonaten der Nährlösung darstellt. Jedenfalls muß es wünschenswert sein, auch das Leben der Mikroben in der Richtung des Energie-Wechsels und -Verbrauchs für die Erforschung allgemeiner Probleme der Biologie mit heranzuziehen, und jedenfalls können wir schon heute sagen, daß Ergebnisse auf diesem Gebiete in recht wichtigen Punkten unsere Kenntnisse erweitert haben. In allen bis jetzt genauer untersuchten Fällen ist das Leben der Mikroben mit einer Wärmeentwicklung verbunden, die mehr oder minder umfangreich als ein dem Energiewechsel höhere Organismen adäquater Vorzug aufgefaßt werden darf. Daraus folgert auch das Bedürfnis eines eingehenden Studiums dieser thermischen Äußerungen des Lebensprozesses.

Ich habe schon vor mehreren Jahren über Methoden und Untersuchungsergebnisse aus dem Gebiete der Mikrobiologie berichtet; da diese Arbeiten wenig bekannt geworden zu sein scheinen, will ich im nachstehenden die Methodik schildern.

Zuerst wurden darüber 1902 Mitteilungen gemacht.[2])

Es sei weiterhin verwiesen auf „Über den Energieverbrauch im Leben der Mikroorganismen", „Die Umsetzungswärme bei der Alkoholgärung". Arch. f. Hyg., XLIX. S. 355, 1904. Über den Energieumsatz im Leben einiger Spaltpilze, und Über spotane Wärmebildung in Kuhmilch und die Milchsäuregärung. Nawiaski, Über die Umsetzung von Aminosäuren durch Bac. proteus vulgaris. Siehe auch bei Tangl, Über den Verbrauch an chemischer Energie während der Entwicklung von Bakterienkulturen, Bonn 1903.

1) Arch. f. d. ges. Physiol., 1908, XCIII, S. 327 und Arb. auf d. Geb. der chem. Physiol., 1908.

2) Ges. d. Energieverbrauchs, S. 49; ferner Hygienische Rundschau, Nr. 17, 1903. Arch. f. Hyg., Bd. XLVIII, S. 260, 9104. ibid. Bd. LVII, S. 62, 1905. ibid. Bd. LXVI, S. 210, 1908, siehe auch Pflügers Arch., Bd. XCVIII, S. 475.



Bei der Untersuchung der niederen Pilze können zwei verschiedene Methoden eingeschlagen werden.

Zunächst lassen sich Untersuchungen anstellen mittels der Bestimmung der Verbrennungswärme der reinen Nährböden und solcher, auf denen Bakterien gewachsen sind.[1])

Sieht man von der dabei anzuwendenden bakteriologischen Methodik zur Gewinnung der entsprechenden Materialien für die Ausführung eines Verbrennungsversuches ab, so unterscheidet sich dies Verfahren in nichts von dem bereits früher Gesagten und wird auch nicht beanspruchen, zur Mikrokalorimetrie im engeren Sinne gerechnet zu werden. Nur einige Bemerkungen sollen hier noch zugefügt sein.

Da es stets notwendig ist, daß die Ernte, d. h. die den Umsatz bedingende Substanz bekannt sei, lassen sich nur dann Experimente anstellen, wenn die Bakterien quantitativ zu sammeln sind, was manchmal durch Abwischen der festen Nährböden (Gelatine oder Agarplatten) mit einem Dachshaarpinsel geschehen kann. Keime, welche eine Verflüssigung der Gelatine herbeiführen, können nicht benutzt werden, da sich die Ernte von der verflüssigten Gelatine nicht genau trennen läßt. Dies gilt im allgemeinen auch für den flüssigen Nährboden überhaupt.

Voraussetzung der Experimente ist ferner der Ausschluß der Erzeugung von flüchtigen verbrennlichen Stoffwechselprodukten oder das Vorhandensein von solchen organischen Stoffen, die sich beim Eindicken und Trocknen der Nährböden verflüchtigen oder zersetzen.

Die gebräuchlichen Ingredienzien zur Herstellung von Nährböden haben pro 1 g Trockensubstanz folgende Verbrennungswärme:[2])

Pepton Hesterberg . .	5,492 kgkal.
Gelatine	4,992 „
Agar	4,098 „
Fleischextrakt . . .	3,514 „

Für die Mikroben selbst habe ich gefunden:

	p. 1 Gr. Trockensubstanz Kgr. Cal.
Penicillium glaucum (ohne Sporen) . .	4,753
„ „ (mit Sporen) . . .	5,359
Untergärige Hefe	4,475
Obergärige Hefe	4,554
Proteus vulgaris (Stamm I)	4,741
„ „ (Stamm II)	4,545
Prodigiosus (frische Kultur)	4,764
„ (alte Kultur)	4,442

Die Mikroben haben eine geringere Verbrennungswärme als ein Tierleib, weil nennenswerter Fettreichtum bei ihnen nicht vorkommt.

Als Beispiel einer solchen Untersuchung des Energieverbrauchs bei Mikroben möge folgendes dienen.

1) Siehe auch bei Tangl, l. c.
2) Rubner, Arch. f. Hyg., XLVIII, S. 268.

Angewandt wurde bei einem Versuch an Agar im ganzen 19,44 Trockensubstanz. Am Schlusse des Versuchs vorhanden:

Agar	14,123 g	Trockensubstanz
Bakterienmasse . . .	1,246 g	„
	15,379 g	Substanz.

Es fehlen also 4,049 g, welche im Energiewechsel verschwunden sind.

Im Agar vor dem Versuch waren . . .	68,51	kgkal.
im Rest des Agars	51,30	„
fehlen	17,21	kgkal.
in den Bakterien enthalten	5,02	„
	12,19	kgkal.

Somit steht einem Bakterienwachstum von 5,02 kgkal. ein Energieumsatz von 12,2 kgkal. gegenüber.

Da feste Nährböden meist nicht hochgradig verwertet werden, wird man häufig gezwungen sein, flüssige anzuwenden; in solchen Fällen ist es wenigstens bei Bakterien schwierig, sie von den übrigen Substanzen zu trennen. Eine hierzu geeignete Methode der Ausfällung mit essigsaurem Eisen habe ich schon vor Jahren beschrieben[1]), sie kann ohne Schaden für weitere Verbrennungsbestimmungen angewandt werden, jedoch **nur** bei solchen Nährböden, welche nennenswerte Mengen von Verbindungen, die durch essigsaures Eisen gefällt werden, nicht enthalten.

Die Wärmeentwicklung bei der Kultur von Mikroben ist gering, d. h. die Bedingungen, unter denen man ihre Messung ausführen muß, sind zumeist schwierige, für die Gewinnung üppig wachsender Kulturen nicht immer günstig.

Es läßt sich aber durch eine geeignete Technik dieser Schwierigkeit für die meisten Fälle überwinden. Man kann für mikrobiologische Zwecke auch die direkte Kalorimetrie anwenden. Ich habe eine geeignete Methode 1902 angegeben.

Das Prinzip besteht in folgendem. Als Kalorimeter dient ein kugliges Glasgefäß mit zwei Glasmänteln, aus denen die Luft völlig evakuiert ist. (Siehe Fig. 33.) Daß die Abkühlung eines solchen Gefäßes enorm verlangsamt wird, ist altbekannt, und wie ich glaube, die Tatsache zuerst eingehend bei **Rumford** beschrieben[2]).

Verschlossen wird das Gefäß durch einen Pfropfen, der ein genau gehendes Thermometer, das noch 0,005° schätzen läßt, trägt. Dieser kalorimetrische Apparat wird in einen genau regulierten Bakterienbrutschrank gestellt. Jedes Kalorimeter befindet sich in einem Kästchen von Hartgummiplatten, um die gegenseitige Bestrahlung auszuschließen.

In den letzten Jahren habe ich die Ausführung der Apparate wesentlich modifiziert.[3]) Eine Gesamtansicht gibt Fig. 34.

In besonderen Einsätzen eines elektrisch geheizten Brutschrankes ruhen mehrere Kalorimeter, so daß man eine Reihe von Experimenten gleichzeitig nebeneinander anstellen kann. Eines dieser Kalorimeter bleibt steril und

1) Arch. f. Hyg., Bd. XLIII, S. 299.

2) Kleine Schriften politischen, ökonomischen und philosophischen Inhalts, II. Bd., Weimar 1799.

3) Zuerst ausgeführt für den internat. Hygienekongreß, Berlin 1905.

dient zur Kontrolle, die übrigen werden mit Kulturen oder mit geimpften Nährlösungen versehen.

Die Kalorimeter sind an einem Bügel (Fig. 33) montiert und können so mit einem Griff in die kreisrunden Öffnungen des Brutschrankes eingeschoben werden, worauf mittels eines darübergeschobenen Kupferdeckels der Verschluß erfolgt.

Der Brutschrank (Fig. 34) ist zylindrisch aus Kupfer gebaut, er wird auf

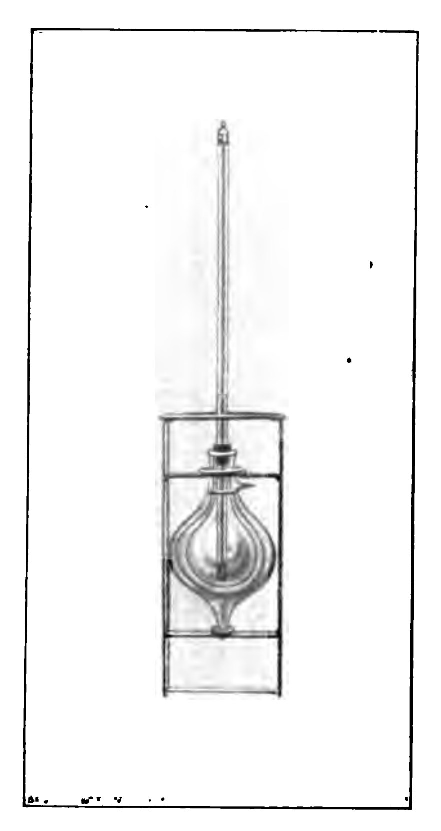


Fig. 33.

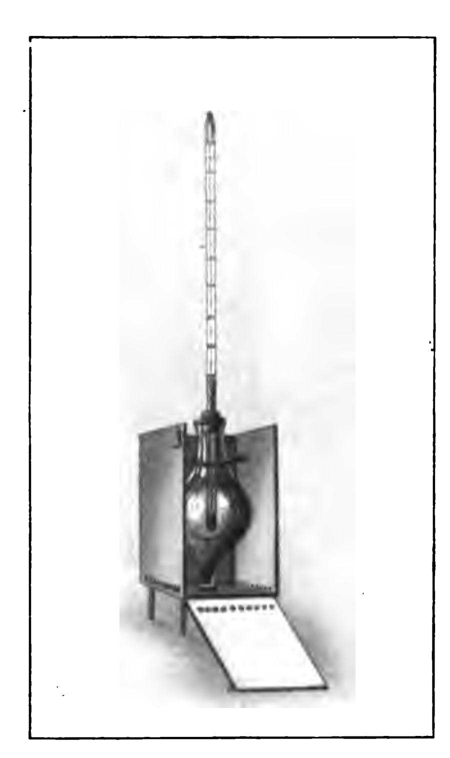


Fig. 35.

elektrischem Wege geheizt und enthält einen Ventilator, der zur Mischung der Luft und zur gleichmäßigen Wärmeverteilung dient. Die Heizung ist selbstregulierend. Auch das Versuchszimmer wird durch eine selbstregulierende Gasheizung auf gleicher (etwa 1—2^{0} schwankender) Temperatur gehalten.

Permanent-Mischung der Kalorimeterflüssigkeit ist meist entbehrlich; da sich die Temperatur oft in einem vollen Tag um wenige Hundertel Grad ändert, ist ein Temperaturausgleich von selbst gegeben. In anderen Fällen wird eine Gummiplatte an das Thermometer gesteckt und durch dessen Drehung eine Mischung vorgenommen.

Man hat bei Mikrobenbeobachtungen zwei Fälle im Auge zu behalten. a) Man kann von einer mäßigen Aussaat ausgehen und das Wachstum beobachten, worauf am Ende des Versuchs eine Erntebestimmung zu erfolgen hat oder b) man will nur Stoffwechselvorgänge studieren, dann muß von vorher kultivierter Mikrobenart sofort mit Beginn des Versuchs eine große



Fig. 34.

Menge zugegeben werden, soviel, daß zwar der Stoffwechsel abläuft, aber Wachstum unmöglich ist. Diese Menge läßt sich nur so richtig finden, daß man mehrere Versuche nebeneinander mit verschiedenen Kulturmengen anstellt, wobei sich herausstellen wird, daß in einem Falle ein Maximum der Umsetzungen im Verhältnis zur Masse der Kultur eintritt.

Bei a) wird die Wärmebildung langsam ansteigen, und bisweilen eine mehr als 24 stündige Latenz vorhanden sein; bei b) steigt die Wärme schon im Verlauf des ersten Tages an. Ich gebe nachstehend zwei graphische Darstellungen des Temperaturganges einer Aussaat von Bact. coli, eine solche mit kleiner (Fig. 36) und eine solche mit starker Aussaat (Fig. 37).

Die Abszissen geben die Zeiten in Tagen, bei der kleinen Menge sieht man eine Latenz der Wärmebildung von fast 24 Stunden, bei der großen Aus-

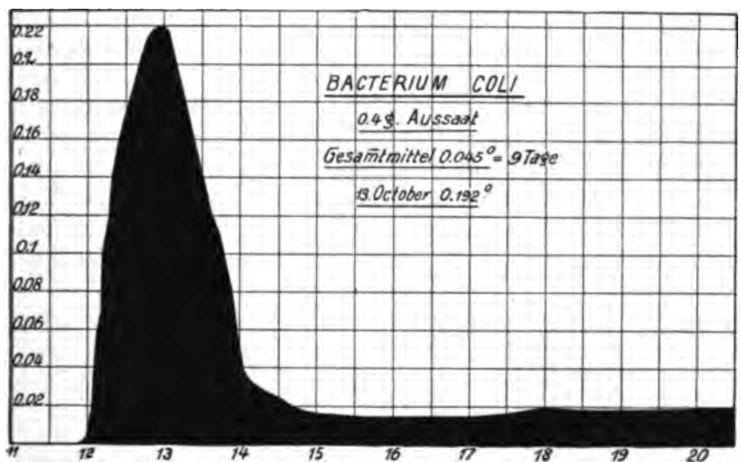


Fig. 36.

Fig. 37.

saat steigt die Wärme sofort an. Die Ordinaten geben in beiden Figuren in gleichem Maßstabe die in Fig. 37 zahlenmäßig beigefügten Wärmezuwächse.

Nimmt man Hefe, so beginnt die Gärung gleich unmittelbar nachdem man Zuckerlösung und Hefe ins Kalorimeter gefüllt hat. Die Flüssigkeit muß genau auf die durch das Kontrollkalorimeter angegebene Temperatur gebracht werden, was einige Übung erfordert, weil man ja mit Rücksicht auf die beim Einfüllen unvermeidliche Abkühlung der Flüssigkeit empirisch eine etwas höhere Temperatur, als jene des Kontrollkalorimeters wählen muß. Die Kurve des Wärmeganges von zwei zu zwei Stunden bei einer Hefegärung gibt nachstehende Figur 38. Nach 56 Stunden war die Wärme auf Null abgesunken, die Flüssigkeit ausgegoren.

In manchen Fällen kann man zur Verhütung jeglicher Verdunstung einen Tropfen sterilen Öles aufträufeln, oder die auftretenden Gase mittels eines Röhrchens, das neben dem Thermometer im Pfropfen des Kalorimeters

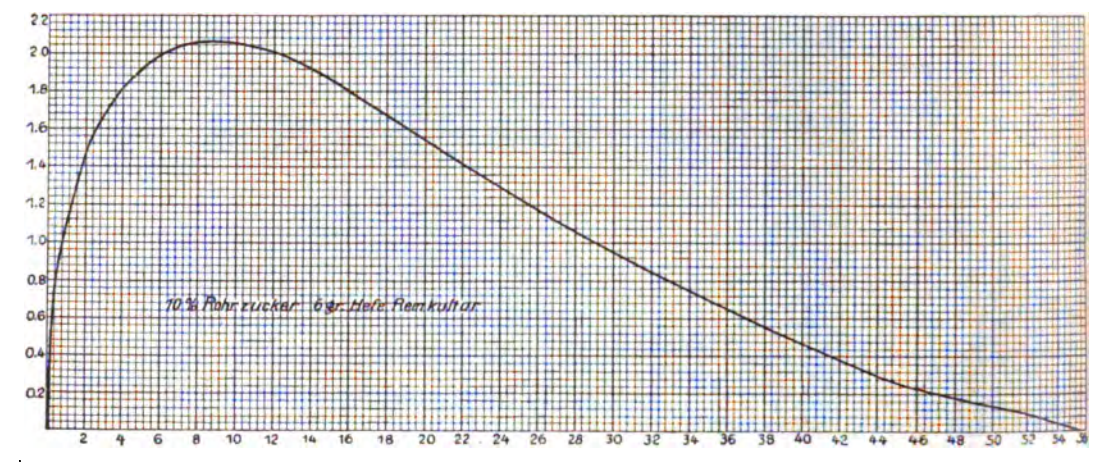


Fig. 38.

sich befindet, nach einem Fläschchen mit konzentrierter Schwefelsäure leiten, das nach dem Versuche gewogen wird.

Es kommen auch Fälle zur Beobachtung, in denen eine Zufuhr von Sauerstoff notwendig wird. Der Bedarf ist meist sehr gering, eine zu große Lüftung muß vermieden werden. Ich habe einen Apparat konstruiert, der automatisch für 6—8 Proben gleichzeitig den Luft- oder Sauerstoffzutritt regelt. (Fig. 39.)

Durch ein Uhrwerk werden eine Reihe von Hähnen mit mehrfacher Durchbohrung in Röhren mit mehreren Schlauchansatzstücken gedreht, so daß nach bestimmten zu regulierenden Zeitintervallen bald der eine bald der andere Hahn den Sauerstoff, der aus einem kleinen Gasometer zugeleitet wird, durchläßt und ein Paar Blasen durch die Versuchsflüssigkeit hindurchtreten.

Die Kalorimeter müssen empirisch geeicht werden, indem man sie vorher mit Wasser füllt, und eine Platinspirale (in einem Röhrchen) von bekanntem Widerstand einführt, die Eichung geschieht in mindestens 12 Stunden währenden Versuchen, die Kalorimeter fassen 250 ccm Kulturflüssigkeit, kleinere

Ausmessungen sind nicht zu empfehlen. Ein feines Ampèremeter mißt den Strom. Nennt man A die Ampèremenge, Ω den Widerstand, so ist die Wärmemenge $W = \frac{A^2 \Omega}{9{,}81 \times 424} \times 3600$ (pro Stunde) und z. B. in einem Falle $W = \frac{0{,}76^2 \cdot 0{,}25}{9{,}81 \times 424} \times 3600 \cdot 0{,}1249$ kgkal. gewesen.



Fig. 39.

Das Thermometer zeigte 2,22 ° Ausschlag, also für 1 ° Temperatursteigerung $\frac{124{,}9 \text{ g kal.}}{2{,}22} = 55{,}8$ g kal. pro Stunde.

Zur weiteren Berechnung muß man den Wasserwert der Füllung des Kalorimeters, des letzteren selbst und jenen des Thermometers kennen.

Der Wasserwert der Füllung ist meist unbekannt, man hat daher die spezifische Wärme dieser Flüssigkeit festzustellen. Dies geschieht mittels irgend einer der bereits auf S. 168 angegebenen Methoden.

Festzustellen ist weiter der Wasserwert des Mikrokalorimeters selbst, er wird ebenso bestimmt, wie es für das große Kalorimeter vorher angegeben worden ist. Hierzu kommt der Wasserwert des für den Versuch benutzten Thermometers. Man kann die Glasdicke und den Kubikinhalt an Quecksilber schätzen oder gelegentlich bei Beschädigung eines Thermometers dasselbe zerlegen und das Quecksilber und die eintauchende Glasmasse für sich wägen. Kleine Fehler kommen kaum in Betracht.

Ich gebe ein Paar Beispiele der Ausrechnung eines Versuches.

Es seien graphisch auf Papier die Temperatur der Kalorimeter aufgetragen und planimetriert, die mittlere Wärme betrage 0,161°, der Eichungswert 0,052 kgkal. pro 1 Stunde und 1° Temperaturüberschuß, dann ist Wärmeproduktion im ganzen (14 Tage)

$$0{,}161 \times 0{,}052 \times 24 \times 14 = 2{,}812 \text{ kgkal.}$$

Am Schlusse wurde noch gefunden + 0,04°, die Wärmeproduktion wird also nicht nur ausgedrückt durch den eben berechneten Wärmeverlust, sondern der Kalorimeterinhalt ist ja noch außerdem um 0,04° erwärmt worden, daher

die Schlußwärme 0,04 × 254,5 (Wasserwert des Apparates)	= 0,0102	kgcal.
Es war außerdem 0,238 g Wasser verdunstet (0,238 × 0,6)	= 0,1428	"
und 5 l Luft durchgeleitet worden	= 0,0003	"
außerdem an Kohlensäure abgegeben 0,041 g	= 0,0052	"
(1 g Kohlensäure = 127,3 gkal. Verdunstungswärme)		
Summe	2,971	"

Als Beispiel des Wasserwertes einer Füllung sei folgendes angeführt:

Nährflüssigkeit 250 g .	= 246,5	gkal. als Wasserwert
Kalorimeter	15,3	"
Thermometer	1,1	"
3,9 g Hefe	3,9	"
im ganzen	266,8	"

Will man eine Kurve in einzelnen, z. B. Stundenabschnitten berechnen, so ist zu beachten, daß hierzu der stündliche Zuwachs an Temperatur benutzt werden muß, um die in dieser Temperaturveränderung gegebene Wärmeproduktion zu berechnen, wozu noch der Wärmeverlust in dieser Zeitperiode hinzukommt.

Ist die Kurve abfallend, so kann der Fall eintreten, daß nur die Wärmeproduktion kleiner geworden ist oder eine einfache Abkühlung ohne Wärmeproduktion vorliegt. Dies wird sich aus der Berechnung der aus dem Sinken der Temperatur der Kalorimeterflüssigkeit abgeleiteten Wärmeabgabe, und dem Wärmeverlust des Kalorimeters durch die Ausstrahlung ergeben. Werden beide Größen gleich, so ist die Wärmeproduktion Null und wir haben eine einfache Erkaltungskurve des Kalorimeters vor uns.

Um alle Zweifel der Berechnungsweise zu heben, gebe ich auch dafür ein Beispiel[1]).

1) Arch. f. Hyg., XLIX, S. 373.

Füllung: 10 % Rohrzucker, 5 g Reinkulturhefe.

Stunden des Versuchs	Temperatur des Kalorimeters zu Ende der Zeit	Differenz zur vorhergehenden Temperatur	Wärme berechnet aus dem Eichungswert im Mittel in gkal.	Änderung des Wärmegehaltes des Kalorimeters in gkal.	Summe in gkal.
2	1,30°	+ 0,50	86	+ 337	423
4	1,80°	+ 0,20	158	+ 130	285
6	2,00°	+ 0,05	190	+ 52	242
8	2,05°	— 0,05	202	13	215
10	2,00°	— 0,10	202	— 13	189
12	1,90°	— 0,10	198	— 26	169
14	1,80°	— 0,10	185	— 26	159
16	1,63°	— 0,17	171	— 44	127

Außer zu Versuchen mit lebenden Kulturen lassen sich namentlich Fermentwirkungen, speziell solche mit langsamen Umsetzungen, außerordentlich



Fig. 40.

exakt mit dieser mikrokalorimetrischen Methode untersuchen, wie dies schon mehrfach von mir und meinen Schülern geschehen ist.[1])

Läßt man das Kalorimeter versilbern, so kann man die Empfindlichkeit auf das zehnfache steigern, es ist aber nicht immer notwendig, ja nicht einmal bequem, allzuempfindliche Instrumente zu benutzen.

Liegt der Fall vor, daß sehr kleine Wärmemengen gemessen werden sollen, wobei die Wärmereaktion nicht allzu langsam, also wenigstens in 8—10 Stunden zum Abschluß kommt, so habe ich mich folgender Einrichtung bedient.

In einem Brutschrank (Fig. 40) befinden sich die (kleinen) versilberten Kalorimeter. Bei diesen ist zwar auch eine doppelte Glashülle um das Kalorimetergefäß vorhanden, aber statt eines doppelten Vakuums ist nur ein äußeres Vakuum vorhanden und die erste Glashülle enthält Luft, bildet also gewissermaßen ein Luftkalorimeter, beide Instrumente werden gekoppelt und mit einer horizontal gelagerten in Millimeter geteilten Röhre verbunden, die einen Petroleumtropfen enthält.

Das eine Kalorimeter bleibt nur mit Flüssigkeit (steril) gefüllt, das andere enthält die Substanzen, welche aufeinander reagieren sollen oder eine Kulturflüssigkeit, welche geimpft werden kann. Man wartet kurz den Temperaturausgleich nach dem Einfüllen ab und schließt dann die beiden Glashähne, die zum Ausgleich des Druckes dienen.

Das Instrument wird elektrisch geeicht, nach seiner Konstruktion kann man es Mikrodifferentialkalorimeter nennen.

---

1) Siehe bei Grafe, Arch. f. Hyg., LXII, 1907, p. 214.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Strassburg; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** München; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Giessen; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Innsbruck; **R. Magnus,** Utrecht; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Rostock; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Göttingen; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenck,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Freiburg i. B.; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt

Erster Band

4. Abteilung

Allgemeine Methodik II

Mit 30 Figuren

Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1911

Inhaltsverzeichnis.

Dieses Blatt ist beim Einbinden des vollständigen Bandes zu entfernen.

4. Abteilung:

Allgemeine Methodik II

I.

Kymographien, Schreibhebel, Registrierspiegel, Prinzipien der Registrierung.

Von

O. Frank in München.

(Mit 13 Figuren.)

Kapitel 1.

Einleitung.

Zur graphischen Registrierung[1]) von Bewegungsvorgängen sind zwei Apparate notwendig: der eigentliche Registrierapparat, durch den die zu untersuchenden Vorgänge in die Bewegungen einer Schreibfeder oder eines Lichtstrahls umgewandelt werden, und eine möglichst gleichmäßig bewegte Fläche, die Registrierfläche, gewöhnlich aus Papier oder aus lichtempfindlichem Material bestehend, auf welche die Bewegungen der Schreibfeder oder des Lichtstrahls in Form einer Kurve aufgeschrieben werden. Nur in seltenen Fällen, wie z. B. bei den Indikatoren, steht die Schreibfläche fest.

Der wesentliche Teil des Instrumentariums ist der eigentliche Registrierapparat. Die Prinzipien seiner Theorie, die jetzt als abgeschlossen zu gelten hat, werden in dem 6. Kapitel dieses Abschnitts behandelt, während die Beschreibung seiner besonderen Einrichtungen und ihre spezielle Theorie in den anderen Teilen des Handbuchs, z. B. „Hämodynamik“, enthalten ist.

In dem vorliegenden Abschnitt werden ferner unter Kapitel 2 die Vorrichtungen zur Bewegung der Registrierfläche, die Kymographien, behandelt.

In dem Kapitel 3 werden die Methoden der Chronographie und Signalschreibung erörtert.

Die einzigen Registrierapparate, die in diesem Abschnitt, und zwar in den Kapiteln 4 und 5, wegen ihrer allgemeinen Verwendung beschrieben werden, sind die Hebel und die Spiegel.

Als allgemeine Quellen für die Literaturangaben haben gedient: Gscheidlen, Physiologische Methodik 1876, Marey, Méthode graphique 1885, Cyon, Methodik der physiologischen Experimente und Vivisektionen 1876, Langendorff, Physiologische Graphik 1891.

---

[1]) Die Methode wurde von Young geschaffen, in der Physiologie speziell zuerst von C. Ludwig angewandt.

Kapitel 2.

Kymographien.

A. Allgemeines.

Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich mit den Apparaten, die zur Bewegung der Registrierfläche dienen, den Kymographien. Seitdem Carl Ludwig im Jahre 1847 (Müllers Archiv S. 242) die graphische Methode zur Bestimmung der Blutdruckschwankungen in die Physiologie eingeführt hat, ist hierfür eine große Reihe von Apparaten konstruiert worden.

Für die Aufnahme der Bewegungen der quergestreiften Muskeln muß die Registrierfläche sehr rasch, $1/2$ bis 10 m Sek., laufen. Hierfür sind besondere Apparate bestimmt, die Myographien. Sie werden ebenso wie die besonderen Einrichtungen zur photographischen Registrierung an andrer Stelle dieses Handbuchs behandelt.

Die Kymographien haben die Aufgabe zu erfüllen, eine Papierfläche mit gleichmäßiger Geschwindigkeit unter der Schreibspitze hindurch zu bewegen. Zum Treiben der Apparate wird entweder eine gespannte Feder, ein fallendes Gewicht oder eine elektromagnetische Kraft, unter Umständen auch die Wasserbewegung benutzt. (Elektromagnetischen Antrieb haben beispielsweise die unten beschriebenen Kymographien von Straub, Blix, Brodie, Lohmann-Rinck. Einen Wasser-Motor verwendet Fitz 1898. Wassermotoren dürften jetzt bei der allgemeinen Zugänglichkeit der elektromagnetischen Kräfte nicht mehr in Betracht kommen.)

Leider fehlt es bis jetzt an systematischen Untersuchungen über die Leistungen der einzelnen Konstruktionen. Fast durchgängig haben sich die Erfinder damit begnügt, die Vorzüge ihrer Konstruktion hervorzuheben, ohne die Leistungen der Apparate nach jeder Richtung objektiv zu würdigen. Die Herstellung guter Kymographien wird mehr als eine Kunst betrachtet, statt daß man die Prinzipien der Konstruktion entwickelt und der Allgemeinheit zugänglich gemacht hätte. Und doch erscheint die Bildung solcher Prinzipien von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Sehr wichtig ist ja die Erzielung einer gleichmäßigen Bewegung der Schreibfläche. Man hat sich vor Fehlern, die durch eine ungleichmäßige Bewegung entstehen, bei den physiologischen Versuchen fast stets dadurch geschützt, daß man bestimmte Zeitintervalle zugleich mit der registrierten Kurve aufgeschrieben hat (s. Kap. 3). Dadurch werden aber die Vorteile einer gleichmäßigen Bewegung der Schreibfläche, ganz abgesehen von der Unbequemlichkeit, eine zweite Kurve registrieren zu müssen, nicht ersetzt. Denn in den meisten Fällen wird man den zeitlichen Verlauf durch Ausmessung der Abszissenlänge feststellen, und nicht durch Ziehen von Ordinaten, welche die Zeitintervalle abgrenzen. Die Meßapparate können kaum für eine andere Methode eingerichtet sein. Dann hat man aber zur Auswertung des zeitlichen Verlaufs eine außerordentlich mühsame Umrechnung notwendig. Unter allen Umständen ist zu bedenken, daß eine Sicherheit für die genaue zeitliche Auswertung bei ungleichmäßiger Bewegung der Schreibfläche nur für den Anfang und das Ende der registrierten Intervalle besteht. Für kleinere Intervalle als die registrierten kann der zeitliche Verlauf unter diesen Umständen nicht sicher ermittelt werden. Die photographische Aufnahme von Bewegungs-

vorgängen hat darüber aufgeklärt, wie unregelmäßig die Schreibfläche gewöhnlicher Kymographien sich bewegt. (Jedes Stillstehen des Films markiert sich durch einen dunkleren Ton der entwickelten Silberschicht.) Will man also eine zeitliche Veränderung für minimale Intervalle wie etwa $^1/_{1000}$ Sekunde feststellen, so müssen diese Intervalle registriert werden. Daß unter Umständen eine Unterlassung in dieser Richtung sehr bedenklich wird, hat u. a. Garten gegenüber Tschermak hervorgehoben.

Die Unregelmäßigkeiten in dem Gang der Kymographien werden erzeugt durch Veränderung der bewegenden Kraft, der Reibungswiderstände und bei der Anwendung von Zahnrädern durch unstete Berührung der Zähne. Die bewegende Kraft nimmt bei den durch Federspannung getriebenen Kymographien entsprechend der Entspannung der Feder langsam ab. Man wird bei ihnen niemals eine völlig gleichmäßige Bewegung erhalten können. Bei den besten Konstruktionen wird durch Verwendung von sehr langen Federn einigermaßen die Gleichmäßigkeit des Ganges innerhalb eines Zeitraums von ca. 10—20 Minuten erzielt. Eine gleichmäßige bewegende Kraft ist die Schwere eines Gewichts. Doch haben die Konstruktionen, bei denen dieses Moment benutzt wird, den Nachteil, daß sie wegen der Größe der Anlage nur schwer transportabel sind, und daß das Gewicht nach verhältnismäßig kurzen Zeiträumen wieder aufgezogen werden muß. Für kurzdauernde Aufnahmen kann durch ein fallendes Gewicht eine gleichmäßige Bewegung erzielt werden, wenn eine passende Dämpfung angebracht wird. Vgl. z. B. die Einrichtungen von Hofmann (1907), Wertheim-Salomonson (1907) etc. Eine konstante Kraft würde auch in den Elektromotoren zur Verfügung stehen, falls sie von einer konstanten elektromotorischen Kraft gespeist werden. Doch spielt bei den kleineren Elektromotoren, die für gewöhnlich zur Bewegung der Kymographien verwendet werden, die Berührung der Kollektorbürsten für die Schnelligkeit der Bewegung eine so große Rolle, daß Ungleichmäßigkeiten der Berührung, wie sie bei dem Betrieb ständig vorkommen, wesentliche Unregelmäßigkeiten des Ganges bedingen. Die Veränderung der Berührung der Bürsten beeinflußt sowohl den elektrischen Widerstand als auch die Reibung. Um diese Ungleichmäßigkeiten zu beseitigen, hat man besondere elektrische Regulatoren konstruiert, die sämtlich nach dem Prinzip der Zentrifugalregulatoren gebaut sind. Bei zu geringer Geschwindigkeit des Motors wird eine stärkere elektrische Spannung automatisch eingeschaltet. (S. u. a. Garten, dieses Handbuch Bd. I 110 u. 111.) Eine umfassende Darstellung der Leistungen dieser Regulatoren liegt bis jetzt noch nicht vor.

Sehr unangenehme Störungen des Gangs — unangenehm deshalb, weil sie in kürzeren Intervallen erfolgende Unregelmäßigkeiten bedingen — werden durch die unregelmäßige Reibung und bei Zahnrad- oder Schneckengetrieben durch Unstetigkeiten in der Zahnradberührung erzeugt. Um die Unregelmäßigkeiten der Reibung an den verschiedenen Achsen und Flächen möglichst unschädlich zu machen, läßt man am besten die bewegende Kraft Arbeit leisten durch Überwindung einer gleichmäßigen eventuell regulierbaren Reibung an einem bestimmten Teil des Apparats. Die sämtlichen mechanischen Regulatoren, die Windflügel, Zentrifugalregulatoren usw., Flüssigkeitsdämpfung, oder auch die Dämpfung durch Foucaultsche Ströme beruhen auf diesem Prinzip. Sie erfüllen meistens einen doppelten Zweck; sie elimi-

nieren die Wirkung der Unregelmäßigkeiten der Reibung in den einzelnen Teilen des Apparats und ferner die Ungleichmäßigkeit der bewegenden Kraft, letzteres dadurch, daß der Reibungswiderstand bei schnellerem Gang des Motors vermehrt wird. Je größer diese Verstärkung des Reibungswiderstands bei einer Vergrößerung der Schnelligkeit des Motors ist, um so besser funktionieren diese Regulatoren. Es würde sich wohl lohnen, die Abhängigkeit der dämpfenden Kraft von der Schnelligkeit der Bewegung dieser Apparate für die einzelnen Typen festzustellen. Nach meinen Erfahrungen wirken die an den Phonographen- oder Grammophonuhrwerken angebrachten Zentrifugalregulatoren besonders gut. Wie der Regulator von Villarceau (s. Marey, Méth. graphique S. 135) wirkt, konnte ich nicht ermitteln. Naturgemäß erscheint es am richtigsten, diese Regulatoren an die letzte Stelle des Triebwerks zu setzen. Wird aber die bewegte Schreibfläche durch Zahnradübertragung hinter den Regulator geschaltet, so kommen seine Vorzüge der Ausgleichung der Unregelmäßigkeiten nur teilweise zugute.

Die Unstetigkeiten der Berührung der einzelnen Teile des Werks werden zunächst durch richtige Konstruktion der Zähne und Gänge vermieden. Mir scheint aber hier vor allem ein Prinzip beachtenswert zu sein: bei den Zahnrädern möglichst viel Zähne anzubringen; dadurch wird die Zahl der Stöße und Schwingungen in der Zeiteinheit vermehrt, es kommt eine größere mittlere Regelmäßigkeit zustande. Nach meiner Meinung ist der bemerkenswerte gute Gang der Phonographen durch die Anwendung dieses Prinzips erzielt. Die Kontrolle des regelmäßigen Gangs geschieht ganz allgemein durch Anbringung von Zeitmarken: Chronographie (s. Kap. 3. Vergl. Marey, Méth. graphique S. 461).

B. Typen der Kymographien.

Die Geschwindigkeit wird man entsprechend der Schnelligkeit der Bewegung wählen. Normalgeschwindigkeiten in Abstufungen von 0.1, 1.0, 10.0 etc. mm/Sec., wie sie Marey in der Méthode graphique S. 461 vorschlägt, haben sich aus begreiflichen Gründen noch nicht eingebürgert.

Die Schreibfläche der Kymographien ist in verschiedener Weise gebildet:

a. Aus einem berußten glatten Papierstreifen, der auf einer durch irgendeine Kraft bewegten Trommel aufgespannt ist. Gewöhnlich beträgt der Umfang der Trommel 50 cm, selten mehr, wie z. B. bei dem Fickschen Myographion.

b. Aus einer berußten in sich zurücklaufenden endlosen Papierschleife. Diese Form ist zuerst von Hering angewandt worden und hat sich bei vielen Untersuchungen als sehr zweckmäßig erwiesen. Die Schleife wird um den rotierenden Zylinder und eine oder mehrere Walzen geführt. Die Schleifenlänge kann zwei oder mehr Meter betragen. Der Vorzug dieser Konstruktion liegt darin, daß bei ihr nicht so oft wie bei dem Kymographion neues berußtes Papier aufgezogen werden muß. Die Kymographien von dem Typus 1 lassen sich meist für die Registrierung auf endlosem Papier umgestalten.

c. Aus Papier in Rollen aufgewickelt. Das Papier bewegt sich über Walzen und wird auf eine zweite Rolle aufgewickelt. So ist das alte Ludwigsche Kymographion konstruiert. An den Kymographien, bei denen für gewöhnlich auf berußtes Papier geschrieben wird, kann in den meisten Fällen eine solche Vorrichtung, wie sie soeben beschrieben wurde, angebracht werden. Auf das Papier muß mit Tinte[1]) geschrieben werden; dadurch ist die Verwendung dieser Kymographien fast ganz beschränkt auf eine Registrierung, nämlich auf die Registrierung der Druckschwankungen durch das Quecksilbermanometer. Denn die Registrierung mit Tinte bedingt eine große Masse der Schreibspitze, durch die das Trägheitsmoment der Hebelschreibapparate so vermehrt wird, daß sie ihre Vorzüge einbüßen.

C. Spezielle Konstruktionen.

a) Einfache rotierende Zylinder.

1. Das Ludwig-Baltzarsche Kymographion. Das Instrument, das wohl zu den meisten graphischen Untersuchungen bis jetzt gedient hat, ist das von Baltzar nach den Angaben Ludwigs konstruierte Kymographion (siehe die umstehende Abbildung, $^1/_5$ natürliche Größe. Eine ältere Konstruktion ist in Cyon, Atlas Taf. VII abgebildet).

Der mit berußtem Papier zu überziehende Metallzylinder cy wird durch das Uhrwerk u in Umdrehungen versetzt. Das Uhrwerkgehäuse kann durch Abnahme einer Seitenwand geöffnet werden. Sein Gang wird durch einen Foucaultschen Windflügel f reguliert. Durch den Hebel h wird das Uhrwerk ausgelöst. Mit dem Schlüssel sl wird es aufgezogen. Die von dem Uhrwerk bewegte Achse a^1 trägt die Friktionsscheibe s, die mit der Schraube p an die auf ihrer Achse verstellbare Friktionsrolle r angepreßt wird. Durch diese mit der Schraube d bewirkte Verstellung, die an einem Zeiger i kontrolliert werden kann, wird die Zylinderachse a^2 in verschiedene Geschwindigkeiten versetzt. Der Gang des Zylinders kann auch noch durch Wechsel der Räderübersetzung im Uhrwerk verändert werden. Der Zylinder samt seiner Achse kann zum Bekleben mit Papier und zur Berußung herausgenommen werden. Nach dem Einsetzen wird er durch eine Einschnappvorrichtung von der Achse der Friktionsrolle mitgenommen. Er kann auf seiner Achse in der Höhe verschoben werden, was durch die Bewegung der Spindel g bewerkstelligt wird. Diese Hebung und Senkung kann auch selbsttätig durch Eingreifen des Räderwerks se in die Achse des Uhrwerks erzielt werden (vgl. S. 10).

Bei den neueren Konstruktionen, wie sie von den Mechanikern Petzold und Zimmermann in Leipzig in den Handel gebracht werden, sind noch einige Verbesserungen angebracht. So kann die Trommel horizontal gestellt werden, ja auch in schiefer Richtung. Auch kann ein Rollensystem mit ihr in Verbindung gebracht werden, das die Verwendung von endlosem Papier erlaubt (Typus c der Kymographien). In letzterem Falle kann nur mit Tinte geschrieben werden.

---

1) François-Franck (1894) ist es jedoch gelungen, das endlose Papier automatisch zu berußen und zu fixieren. (Abbild. S. 749—50 der Abhandlung.)

2. Bei dem Mareyschen Kymographion (1868, Abbild. Méthode graph. S. 134, Cyon, Atl., XVII, Fig. 1) liegt die Trommel für gewöhnlich horizontal. Das Uhrwerk wird durch den Foucaultschen Windflügel reguliert (Marey scheint ihn zuerst bei Kymographien angewendet zu haben, s. Du mouve-

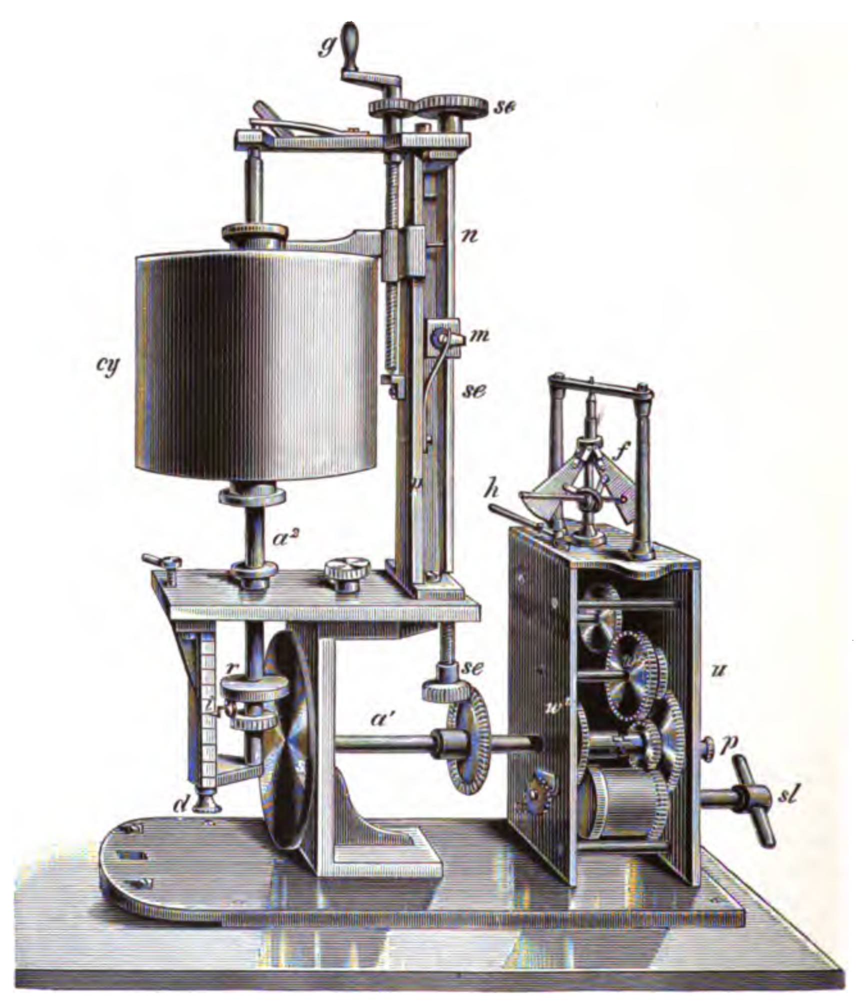


Fig. 1.
Ludwig-Baltzarsches Kymographion (nach Langendorff, Graphik S. 11).

ment dans les fonctions de la vie 1868, p. 124). Die Trommel wird zur Erzielung verschiedener Geschwindigkeiten auf verschiedene Achsen gelagert, was nach meinen Erfahrungen große Nachteile mit sich bringt. Ob in neuerer Zeit diese Übelstände beseitigt worden sind, ist mir nicht bekannt geworden. Die Registrierung auf horizontaler Schreibfläche bietet prinzipiell keine Vorteile, wie dies Marey fälschlich angenommen hat (s. S. 39).

3. Als Kymographion im gewöhnlichen Sinn (Geschwindigkeit 0,5—250 mm),

Myographion (v bis 2 m) und Polyrheotom zugleich konstruiert ist das Pantokymographion Engelmanns (1894).

4. Eine elegante Konstruktion ist von Blix (1902, Abbildung S. 408) angegeben und von Sandström ausgeführt worden. Der Elektromotor, der die Trommel bewegt, läuft mit elektromagnetischer Regulation. Die Geschwindigkeit variiert von 0,05—1000 mm/sek.

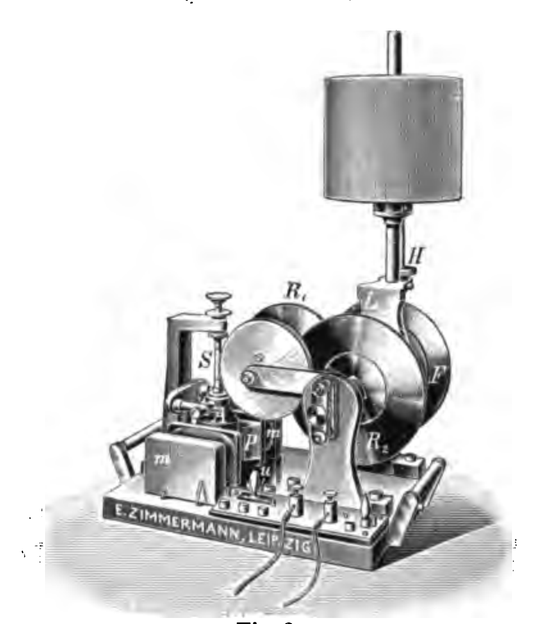


Fig. 2.
Elektro-Kymographion nach Straub.

5. Das Kymographion von Straub (1900) wird durch Elektromotor betrieben. Die Geschwindigkeit ist bequem von 0,5—260 mm regulierbar (vgl. die Abbildung).

6. Für Aufnahmen, bei denen es nicht auf einen vollständig regelmäßigen Gang ankommt, sind sehr brauchbar die von Porter (1903 und 1904) angegebenen Konstruktionen. Sie nehmen nur wenig Platz ein, besitzen genügende Verstellbarkeit der Geschwindigkeit, darunter einen durch Pendelbewegung erzielten sehr langsamen Gang von etwa einer Umdrehung in 12 Stunden.

b) Kymographien mit Schleife.

1. Das Heringsche Kymographion (Typus b) soll die Verwendung einer größeren Papierfläche ermöglichen (auch von Fr. Franck angegeben, siehe Fr.-Franck 1894). Sein Prinzip besteht darin, daß ein durch Verkleben seiner Enden zu einer geschlossenen Schleife umgewandelter Papierstreifen über zwei Trommeln geführt wird. Die eine Rolle steht mit einem Uhrwerk in Verbindung, die andere wird durch die Bewegungen des Papierstreifens mitgenommen.

2. Die ältere Heringsche Konstruktion ist verschiedentlich verändert und verbessert worden. So findet sich auch in dem Katalog von Verdin, Paris 1890, S. 5 eine Modifikation des Heringschen Kymographions nach Marey. Es wird mit Gewichten betrieben und hat einen Windflügel-Regulator mit Öldämpfung. Eine zweckmäßige Modifikation hat Hürthle (1890)

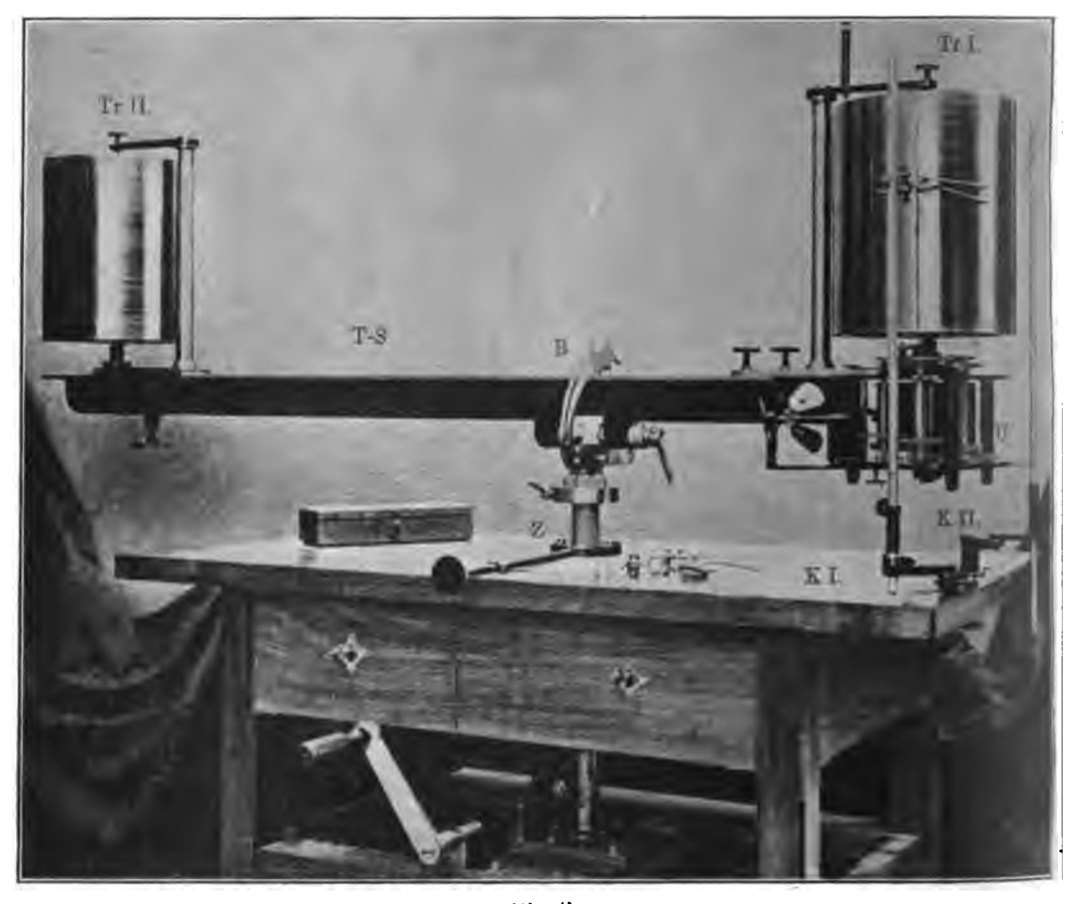


Fig. 2.
Modifikation des Heringschen Kymographions nach Hürthle.
U Uhrwerk, Tr Trommeln, B Bügel zum Umlegen, K I, II Halter für die Schreibapparate.

angegeben (siehe die Abbildung). Sie ist sehr stabil gebaut und besitzt den Vorteil, daß die Trommeln und mit ihnen die Papierschleife gehoben und gesenkt werden können. Außerdem können sie horizontal für die Registrierung oder zum Anlegen und Berußen der Papierschleife gestellt werden.

3. Eine andere Form dieses Apparates für langsamen Gang ist von Magnus 1902 angegeben worden. (Geschw. 1—6,3 mm/sek.) Sie zeichnet sich durch einen niedrigen Preis aus.

4. Eine weitere Modifikation, ausgeführt von C. F. Palmer, London, hat Brodie 1901 auf dem internationalen Kongreß zu Turin demonstriert.

5. Für elektrischen Antrieb haben Lohmann und Rinck (1908) zweckmäßige Einrichtungen beschrieben. (Geschw. 1—200 mm/sek.)

6. Epstein (1896) hat eine ähnliche Einrichtung des Heringschen Kymographions getroffen. (Gewichts-Uhrwerk Geschw. 0,5—150 mm/sek.)

Selbstverständlich können alle Kymographien, welche die Heringsche Schleife besitzen, auch für die gewöhnliche Registrierung, bei der das Papier auf der Trommel aufgezogen wird, benutzt werden. Notwendig ist, daß die Schleife sich bei dem Berußen nicht verzieht. Das Papier darf hierbei nicht zu stark erwärmt werden (s. unten).

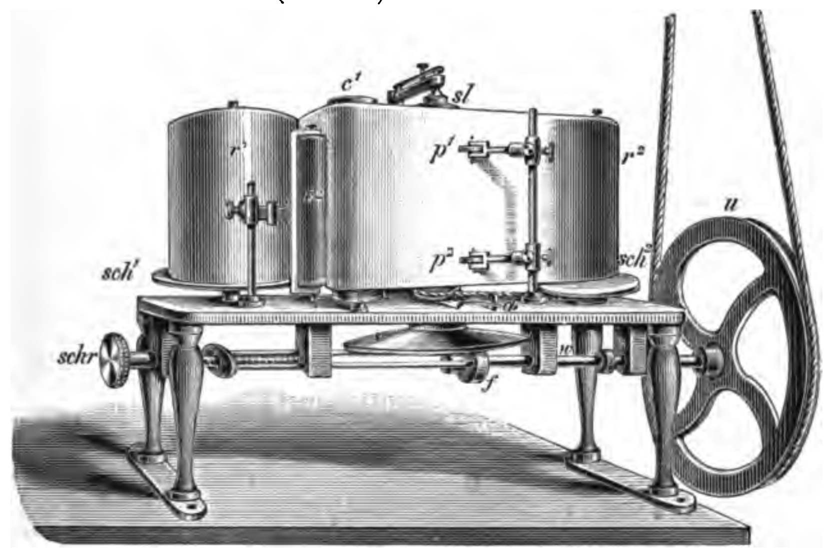


Fig. 4.
Ludwigsches Kymographion (nach Langendorff, Graphik S. 24).

c) Kymographien mit endlosem Papier.

Für Registrierung mit Tintenschreibung ist das Baltzarsche Kymographion mit Papier ohne Ende bestimmt (s. die Abbildung). Das Kymographion wird durch Motorkraft bewegt. Die Achse des Treibrades u überträgt ihre Bewegungen durch die verstellbare Friktionsrolle f auf die Friktionsscheibe s. Auf deren Achse sitzt die bewegende Rolle sl. Das Papier wickelt sich von der Rolle r^1 (durch verschiedene Rollen geführt und mit den Preßröllchen p an die bewegende Rolles l angedrückt) ab und auf die Rolle r^2 auf. Die Rolle r^2 wird ebenfalls von dem Treibwerk durch einen Schnurlauf mitgetrieben; sie steckt, aber nur durch Friktion festgehalten, auf ihrer Achse auf und kann, wenn sich das Papier nicht genügend fest aufwickelt, nachgedreht werden. Eine Abbildung findet sich auch in Cyon, Atlas Taf. XIII. Marey hat in „La méthode graphique" S. 457 ein kleines transportables Modell dieses Typus abgebildet, das wohl von Verdin, Paris, in den Handel gebracht wird.

Die Rußschreibung hat fast vollständig die Tintenschreibung, die nur mit großen Trägheitskräften durchgeführt werden kann, verdrängt. Die

Tintenschreibung kann nur für das gedämpfte Hg-Manometer oder überhaupt für stark gedämpfte Apparate mit Vorteil verwendet werden.

D. Bespannung der Trommeln, Berußung, und Fixierung.

Das Papier das für die Registrierung verwendet wird, muß möglichst kornlos und glatt sein. Marey (La méthode graphique S. 458) empfiehlt papier glacé au blanc de zinc. Wir verwenden in der letzten Zeit Kunstdruckpapier. Eine systematische Prüfung der Papiersorten ist bis jetzt noch nicht vorgenommen worden. Es wird in Blättern von der Höhe der Registriertrommel, und etwa 1 cm größerer Länge als ihr Umfang geschnitten und an der einen Seite gummiert. Auf die Trommel wird es möglichst fest aufgespannt.

Die Berußung des Papiers geschieht bei allen Instrumenten am besten durch eine Gasflamme, die entweder in der Form einer Stichflamme oder einer Bürstenflamme einer passend geformten Röhre entströmt. Die Gasbürste besteht aus einer Röhre, die mit vielen kleinen Öffnungen versehen ist. Nach meinen Erfahrungen eignet sich die Stichflamme am besten. Bei der Berußung muß die Trommel bezw. die Heringsche Schleife sehr rasch gedreht werden. Brodie benutzt für die Berußung der Heringschen Schleife einen besonderen Apparat, bei dem sie zur besseren Abkühlung über mit Wasser gefüllte Trommeln mit mäßiger Geschwindigkeit läuft. Hürthle hat hierfür einen Rußzerstäuber angegeben (1890). Von Marey (La méthode graphique S. 459) wird ein Wachsstock, wie er zum Anzünden der Gasflammen usw. gebraucht wird, für die Berußung empfohlen.

Fixiert werden die Kurven durch eine Schellacklösung. Eine geeignete Vorschrift lautet: 10 Teile Schellack werden in der Wärme in 100 Teilen 90%igen Alkohols gelöst. Damit die Tafeln nicht zu brüchig werden, kann man etwas venezianisches Terpentin oder auch einige Tropfen Glyzerin beimischen. Im Ludwigschen Laboratorium war eine besondere Vorrichtung für die Fixierung im Gebrauch. Sie besteht aus einer halbzylindrischen Wanne, an deren tiefstem Punkt eine Röhre mit Schlauchverbindung zu einer tubulierten Flasche führt, die mit Schellack gefüllt ist. Wird die Flasche gehoben, so füllt sich die Wanne. Für gewöhnlich steht sie unterhalb der Wanne mit der abgeflossenen Schellacklösung gefüllt. Von Zeit zu Zeit muß die Schellacklösung filtriert werden. Die Papierstreifen können oberhalb der Wanne zum Ablaufen des Schellacks und Trocknen an einer Stange aufgehängt werden.

E. Gegenseitige Verstellung der Registrierapparate nnd des Registrierzylinders.

An dem Ludwig-Baltzarschen Kymographion befindet sich eine Vorrichtung zum Heben und Senken des Zylinders (s. Fig. 1g). Durch sie wird es möglich, mehrere Kurven hintereinander auf demselben Registrierblatt zu schreiben, falls die Höhe der Trommel hierfür ausreicht. Die Schraube ohne Ende, die zur Verstellung des Zylinders benutzt wird, kann automatisch mit dem Uhrwerk des Kymographions verbunden werden (s. Fig. 1se). Die Kurvenabszissen steigen dann schraubenförmg auf dem Zylinder in die Höhe.

Marey zieht es vor, die Registrierapparate auf kleinen Wagen anzubringen, die mit einer gewissen selbständigen Geschwindigkeit oder mit dem Kymographion verkuppelt an dem Zylinder vorbeilaufen (S. Marey, La méth. graphique S. 458, und Katalog von Verdin, Paris 1890 S. 3, 6 u. 7). Mir scheint die Ludwigsche Konstruktion unbedingt richtiger.

Blix 1902. Neue Registrier-Apparate. Pflügers Arch. 90 S. 405.
Brodie 1901. A new form of kymograph. (Physiol. Kongr.) Arch. ital. d. biologie XXXVI, S. 161.
Engelmann 1894. Het pantokymographion en eenige darmee verrichte physiologische proeven. Mitteil. d. Niederl. Akad. Siehe auch Pflügers Arch. 52, S. 603.
Epstein 1896. Über ein neues Kymographion. Zeitschr. f Instrumentenkunde. Nov. 1896.
Fitz 1898. A water motor for actuating kymograph drum. Journ. of the Boston Soc. of med. science. Vol. II. p. 244.
François-Franck et Galante 1894. Nouvel enregistreur à bande sans fin avec enfumage et vernissage automatique. Arch. de physiol. S. 749.
Hofmann, F. B. 1907. Eine neue Reguliervorrichtung für Kymographien. Zentralbl. f. Physiol. 21, S. 721.
Hürthle 1890. Beiträge zur Hämodynamik. 4. Technische Mitteilungen. Pflügers Arch. Bd. 47, S. 1.
Lohmann und Rinck 1908. Ein Kymographion mit elektrischem Antrieb. Zeitschr. f. biol. Techn. u. Method. Bd. I, S. 192.
Magnus 1902. Ein neues Kymographion für länger dauernde Versuche. (Pharmakol. Institut Heidelberg.) Zentralbl. f. Physiol. 16, S. 377.
Marey 1868. Du mouvement dans les fonctions de la vie. S. 124.
Porter 1903. Amer. Journ. of physiol. VIII, p. XXXV.
—— 1904. Ebenda. X, p. XXXIX.
Straub 1900. Ein neues Kymographion mit Antrieb durch Elektromotor. Pflügers Arch. Bd. 81.
Wertheim-Salomonson. Pflügers Arch. 120, S. 618.

Kapitel 3.

Chronographie und Signalschreibung.

Außer den Kurven, die den Ablauf des untersuchten Vorganges darstellen, werden in den meisten Fällen noch andere zur Feststellung der Abhängigkeit des Vorganges von verschiedenen Variablen von der Registrierfläche aufgenommen.

So werden vor allem Zeitintervalle — hauptsächlich zur Kontrolle der gleichmäßigen Bewegung der Registrierfläche — je nach der Art der Registrierung von wechselnder Dauer verzeichnet. Diese Markierung bezeichnet man als Chronographie.

Aber auch andere Signale werden aufgenommen, so Anfang und Ende einer Reizung usw.

Diese Marken, die Zeitmarken, Reizmarken u. dgl. können unmittelbar aufgeschrieben werden, so durch Hebel bei dem Ludwigschen Kymographion ohne Ende, oder durch eine Stimmgabel oder den Jaquetschen Chronographen (das Nähere s. unten). Meistens zieht man vor, die Marken durch Lufttransmission oder elektrische Transmission zu verzeichnen. Bei der

ersteren Übertragungsart wird durch den Signalgeber — Schlüssel, Hebel, Stimmgabel, Metronom usw. — eine Mareysche Senderkapsel in Bewegung versetzt und die Bewegung durch Lufttransmission auf eine Registrierkapsel übertragen. Bei der elektrischen Transmission wird allgemein durch den Signal- oder Zeitgeber ein Strom geschlossen und geöffnet und dadurch ein Markiermagnet in Funktion gesetzt.

Beide Signalübertragungen — durch Luft — oder elektrische Transmission — besitzen eine Latenzzeit, die unter Umständen bestimmt werden muß. Sie wird dadurch festgestellt, daß man die Bewegung des Unterbrechers und die Bewegung des Markiermagneten gleichzeitig auf die Trommel aufschreibt. Ganz ähnlich läßt sich die Latenz der Luftsignale bestimmen (vgl. Marey, Méth. graph. S. 478). Bei hämodynamischen Versuchen spielt die Latenz wohl nie eine Rolle. (Vgl. Marey, Méth. graph. S. 475 u. Langendorffs Graph. S. 157.)

A. Registriermagnete und Registrierkapseln.

Zur Markierung der Zeitintervalle und anderer wichtiger Momente werden besondere Apparate benutzt. Am wenigsten Platz nehmen passend konstruierte Markiermagnete ein. (Nach Gscheidlen S. 111 ist das Prinzip der elektromagnetischen Signale von dem Physiker Locke in „The Americ. journ. of science and arts Ser. II, Vol. VII, p. 206, 1849 zuerst angegeben worden.) Für die Konstruktion dieser Markiermagnete sind dieselben Prinzipien im Auge zu behalten, die in den nächsten Kapiteln und besonders in Kap. 4 näher auseinander gesetzt werden. Danach muß der Hebel möglichst kurz sein. Ein kurzer Hebel kann um so unbedenklicher angewandt werden, als die Zeitmarken nur durch niedrige, höchstens 2—3 mm hohe Ordinaten dargestellt zu werden brauchen, also die Krümmung der Ordinaten keine Rolle spielt. Der Pfeil-Kroneckersche Magnet (abgebildet Langendorff Graphik S. 154 Beruht auf dem Prinzip des Telephons“?) ist nach dieser Richtung nicht zweckmäßig konstruiert. Ob die Feder-Kraft, die den Anker in die Ruhelage wieder zurückführt, durch eine an einem Ende eingeklemmte Feder oder an beiden Enden eingeklemmte Feder, wie dies bei dem Pfeil-Kroneckerschen Magneten der Fall ist, geliefert wird, ist prinzipiell vollständig gleichgültig. Von den Schwingungsformen, in die die Feder gerät, kommt unter allen Umständen nur die eine, die Hauptschwingung, wesentlich in Betracht. Es hat also keinen Wert, die Konstruktion dem Telephon ganz oder teilweise nachzubilden. Durch die Kürze des Hebels wird wesentlich das geringe Trägheitsmoment der Vorrichtung bedingt. Die Masse des Ankers kann so gering gehalten werden, daß sie gegenüber der (reduzierten) Masse des Hebels nicht in Betracht kommt. Wenn man die ganze Vorrichtung kompendiös halten will, so sind die Drahtspulen so klein als möglich zu gestalten. Durch Verringerung des magnetischen Widerstands der Spule, d. h. durch Verkürzung der Luftstrecken erzielt man eine starke magnetische Wirkung und kann dann mit wenigen Windungen ausreichen. Der Schreibhebel läßt sich nach dem Prinzip der freien Hebel (s. Kapitel 4) einrichten. Der Versuch einer Theorie der Markiermagnete findet sich in Marey, Méth. graphique S. 472.

Zur Auslösung der Bewegung dieser Markiermagnete dienen in den Stromkreis geschaltete Kontakte, die durch verschiedenartige Uhrwerke, Stimmgabeln oder schwingende Federn getrieben werden (S. unter B.).

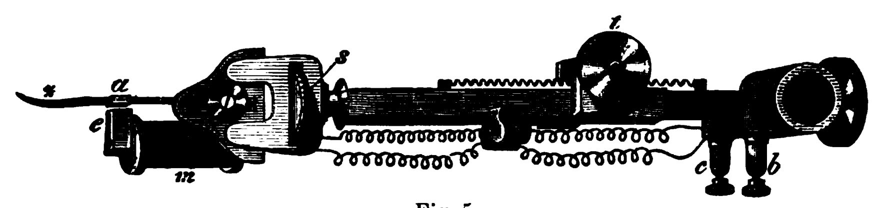


Fig. 5.
Signal von Marey. Schwingungszahl 60/Sec. Durch die Schraube s kann die Feder auf N = 100/Sec. abgestimmt werden. (Nach Langendorff Graphik S. 189. Vgl. auch Marey Meth. graph. S. 189 u. 467.)

Auch Mareysche Kapseln (sog. Luftsignale Marey, Méth. graph. S. 141), die ihre Bewegung durch Lufttransmission von denselben Senderapparaten erhalten wie die Markiermagnete, können zur Markierung der Zeitintervalle usw. verwendet werden.

Ich nehme hier die Abbildungen von den bekannten von Verdin, Paris, ausgeführten Markiermagneten von Marey und Deprez auf, deren Konstruktion wohl ohne weiteres aus der Zeichnung hervorgeht. Auch der von der Harvard Co. sowie ein von mir angegebener kleiner Markiermagnet

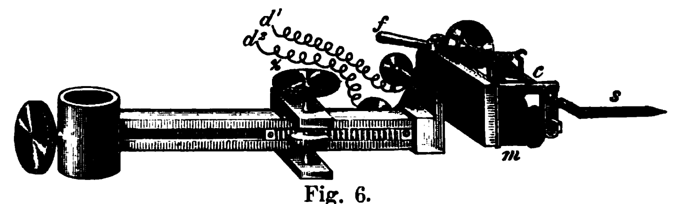


Fig. 6.
Signal von Deprez. (Nach Langendorff Graphik S. 153. Vgl. auch Marey, Méth. graph. S. 140 u. 467.) Durch den Konus c Größe der Ankerbewegung, durch f Spannung der Feder zu regulieren.

sind prinzipiell recht konstruiert. (S. Petter, Leistungen des Sphygmographen.) Ältere Konstruktionen von Wittich und Brondgeest sind in Langendorffs Graphik S. 127—130 angeführt und abgebildet. Hier findet sich auch S. 155 ein Doppelsignal. Die dem Ludwigschen Kymographion beigegebene Vorrichtung (s. Cyon Atlas XVIII, Fig. 3) besteht aus einem direkten Signalhebel und einem Markiermagneten. Eine eigentümliche Konstruktion für intermittierende Registrierung ist in Marey, Méth. graphique S. 468 abgebildet. Für die automatische Hervorhebung der Striche 5, 10, 15 usw. hat Ludwig die in Cyon, Atlas XIX, Fig. 1 u. 2 abgebildete Vorrichtung konstruiert.

B. Zeitgeber.

Als Zeitgeber für die Auslösung der Bewegungen der Markiermagnete oder der Mareyschen Kapsel, teilweise auch als selbständige Apparate, finden folgende Vorrichtungen Verwendung:

a) Ein Pendel mit Kontaktvorrichtungen. Es kann natürlich nur für kürzere Versuche benutzt werden. (vgl. u. a. Langendorff Graphik S. 121

Pendel mit Quecksilberkontakt, ferner das Buffsche Pendel mit Platinkontakt S. 122 oder den Quecksilber-Unterbrecher von Krille S. 123.)

b) Ein Pendel-Uhrwerk. Hierzu kann jede gutgehende Uhr oder auch ein Metronom (vgl. das Metronom mit Quecksilberkontakt, Langendorff, Graphik S. 124) verwendet werden. Um bequem verschiedene Marken hervorzuheben und zugleich die Minuten durch besondere Intervalle von 1 Sekunde aufwärts zu markieren, hat Bowditch 1871 ein Uhrwerk angegeben, das von Baltzar im Ludwigschen Laboratorium ausgeführt worden ist. Das Uhrwerk ist von Garten in dem 2. Bd. 3. Abt. S. 368 an der Hand einer Abbildung beschrieben. (Vgl. auch Cyon, Atlas, Taf. XXXIX. Fig. 1.)

c) Die Brodiesche Uhr. Sie wird elektromagnetisch betrieben. Mit ihr können die Intervalle in ähnlicher Weise wie bei der Baltzarschen Uhr variiert werden. (Verfertiger: C. Palmer, Upper Tilse Hill London.)

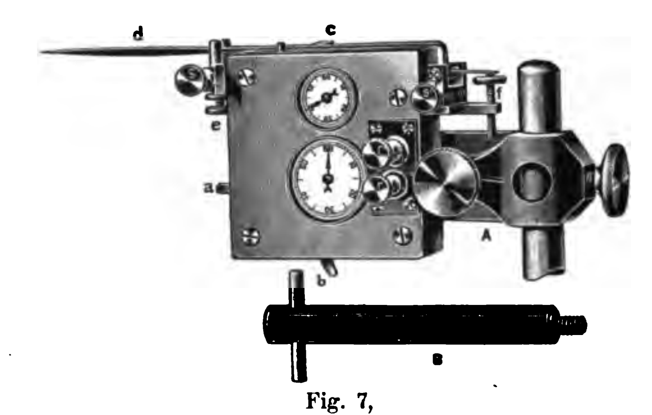


Fig. 7,
Chronometer von Jaquet.
Hebel a zum Auslösen und Arretieren, b zum Einstellen auf den 0-Punkt.

d) Jaquet (1891) beschreibt das graphische Chronometer, das im wesentlichen aus einer großen Ankeruhr besteht, deren Ankerrad einen Schreibhebel anstößt. Der Schreibhebel kann auch als Kontaktgeber fungieren und so zur elektrischen Übertragung der Zeitmarkierung dienen, die je nach der Stellung eines Stiftes c in $^1/_5$ oder ganzen Sekunden-Intervallen erfolgt. Das Chronometer wird ähnlich wie bei den Sportsuhren durch Druck auf einen Knopf ausgelöst oder wieder gehemmt. Jaquet hat die Genauigkeit dieses Chronometers durch verschiedene Methoden geprüft. Ich gebe hier seine Kritik wieder. Besonders wenn man immer je zwei aufeinander folgende Fünftelsekunden verwendet, ist die Genauigkeit für physiologische Versuche vollständig hinreichend. Daß aber zwischen einem Hin- und einem Hergang der Unruhe Differenzen auftreten, hat Blix (1902) konstatiert. Nach ihm zeigt der Jaquetsche Chronograph in horizontaler Lage 4% Verzögerung. Viel größer hat Jaquet die Fehler einer elektrisch betriebenen Stimmgabel, nämlich bis zu 1% gefunden. Noch ungenauer ist der auf Anregung von Kronecker durch Grunmach veröffentlichte Zungenpfeifenchronograph. Ein Sekundenpendel, das zur elektrischen Registrierung verwendet wird, ist nur unter gewissen Vorsichtsmaßregeln, nämlich, wenn es richtig senkrecht

aufgehängt wird, und wenn immer nur volle Schwingungen verwendet werden (ein Hin- und Hergang), hinreichend genau. Der Jaquetsche Chronograph ist ein vielseitig verwendbares Instrument.

e) Eine Stimmgabel, die am besten elektromagnetisch betrieben wird. Die Abbildung zeigt die Einrichtung einer von Zimmermann in Leipzig konstruierten Form der Elektromagnete und der Kontakte dieses viel gebrauchten Apparates. Er besitzt alle wünschenswerten Möglichkeiten der Verstellung, so daß er für eine bestimmte Stromstärke zum gleichmäßigen

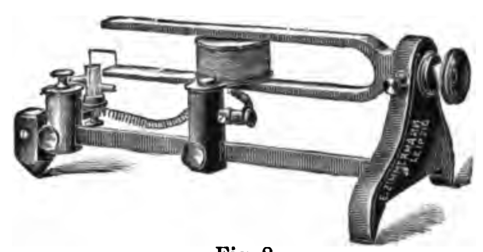


Fig. 8.
Elektromagnetisch betriebene Stimmgabel als Zeitgeber.

Arbeiten gebracht werden kann. Der Markiermagnet, der hier direkt in den Erregungsstrom eingeschaltet wird, muß natürlich sehr kurze Schwingungen ausführen. Am besten wird dies durch kurzhebelige Markiermagnete erreicht (s. oben und das Kapitel über die Schreibhebel). Unhandlich wird der Apparat, wenn man zur Registrierung der Schwingungen der selbsttätigen Stimmgabel eine zweite Registrierstimmgabel benutzt, die durch die Schwingungen der ersten Stimmgabel in Bewegung wie ein Markiermagnet versetzt wird. Die Registrierstimmgabel muß auf die erste so abgestimmt sein, daß die Zahl ihrer Eigenschwingungen ein einfaches Multiplum der Schwingungen der ersten ist. Auch eine derartige Stimmgabel ist hier abgebildet.



Fig. 9.
Registrierende elektromagnetische Stimmgabel (selbsttätig oder resonierend).

Die Stimmgabel kann nach Ewald (1889) auch durch einen saugenden Luftstrom ständig in Schwingungen versetzt werden. Die in dem Luftstrom durch die Schwingungen entstehenden Druckschwankungen werden durch eine Mareysche Kapsel registriert, die seitlich durch einen Schlauch angeschlossen ist. Nach Hürthle (1898) ist die Membran der Trommel am besten straff gespannt. Statt des Hebels der Kapsel bringt Hürthle eine kleine Stahlfeder an, die synchron mit der Stimmgabel schwingt. (Nach Marey, Méth. graph. S. 136 ist die Stimmgabel zuerst von dem Physiker Young zu

chronographischen Zwecken verwendet worden. Helmholtz hat wohl die erste elektromagnetisch betriebene Stimmgabel konstruiert.)

f) Der Bernsteinsche Unterbrecher. Der Apparat ist von Garten in Bd. II S. 368 beschrieben.

g) Die von Kagenaar konstruierten schwingenden Stäbe, das Chronoskop, die von Engelmann zur Registrierung der Zeitintervalle verwendet wurden. Mir scheinen sie den Vorzug vor dem Bernsteinschen Unterbrecher (s. Langendorffs Graphik, S. 141) zu verdienen. Man braucht ja nicht die Zeitintervalle ganz allmählich abstufen zu können, sondern nur Intervalle zu registrieren etwa in Stufen von $^1/_2$, $^1/_5$, $^1/_{10}$, $^1/_{20}$, $^1/_{50}$, $^1/_{100}$ usw. Sekunden. Die Instrumente müssen in bezug auf die magnetische Kraft und die elastische Kraft stets speziell für diese Intervalle konstruiert werden: sonst funktionieren sie nicht regelmäßig. Man wird sich also am besten, wie dies bei dem Kagenaarschen Chronoskop der Fall ist, eine Serie von — 6 — speziell auf diese Intervalle abgestimmten Stäben vorrätig halten. (Vgl. Langendorffs Graphik S. 141.)

h) Durch in regelmäßigen (durch Hahn regulierbaren) Intervallen ausfließende Tropfen kann nach Grützner (1887) auch eine Zeitregistrierung bewirkt werden.

i) Grunmach (1880) verwendet zur Zeitregistrierung einen Zungenpfeifenchronographen, den er auf Anregung von Kronecker konstruiert hat. Die Zunge einer passend konstruierten Zungenpfeife ist mit einer Schreibspitze versehen, welche die Schwingungen aufschreibt. An die Zungenpfeife ist ein Resonator angeschlossen, der auf einen bestimmten, nämlich den dritten Oberton der Pfeife abgestimmt sein soll. Die Pfeife wird durch einen Apsirator in Gang gesetzt. Dieser Apparat bildet einen Teil eines Polygraphions. Die Zungenpfeife kann auch als Unterbrechungsapparat konstruiert werden zum Anregen eines Markiermagneten. Der Apparat ist ebenfalls in dem 2. Band 3. Abt. S. 371 dieses Handbuchs von Garten beschrieben und abgebildet. Eine Kritik siehe oben unter d).

k) Die Funkenchronographie (s. Langendorffs Graphik, S. 142—144), die darauf beruht, daß man in bestimmten Intervallen Funken von der mit einem Pol eines Induktoriums in Verbindung stehenden metallischen Schreibspitze des Registrierapparates durch das Schreibpapier auf die mit dem anderen Pol des Induktionsapparates verbundene Trommel des Kymographions überspringen läßt, hat nur selten Anwendung gefunden und ist auch nicht zu empfehlen, weil die metallische Schreibspitze des Hebels eine außerordentliche Vergrößerung des Trägheitsmomentes des Hebels bedingt. Dagegen ist die Anbringung von Zeitmarken in der registrierten Kurve bei den optischen Verfahren sehr einfach durchzuführen ohne Schädigung wesentlicher Eigenschaften des Registrierapparates, dadurch daß man den Lichtstrahl durch einen von einem Uhrwerk oder dgl. getriebenen Hebel periodisch unterbricht. Die Registrierung der Kurven auf schwingender Stimmgabelplatte, wie sie von Landois durchgeführt worden ist, hat offenkundige Nachteile, so daß eine nähere Diskussion des Verfahrens nicht notwendig erscheint. (Vgl. Langendorffs Graphik, S. 144—147.)

Bernstein 1871. Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme. Heidelberg.
Blix 1902. Neue Registrierapparate. Pflügers Archiv 90 S. 405.
Bowditch 1871. Über die Eigentümlichkeiten der Reizbarkeit, welche die Muskelfasern des Herzens zeigen. Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig.
Grunmach 1880. Ein neues Polygraphion. Du Bois-Reymonds Archiv S. 439.
Grützner 1887. Ein neuer Zeitmarkierungsapparat. Pflügers Archiv 41. S. 290.
Jaquet 1891. Studien über graphische Zeitregistrierung. Zeitschr. f. Biologie XXVIII, S. 3.

Kapitel 4.

Hebelapparate.

A. Einleitung und Theorie.

Bei den meisten Registrierapparaten wird eine fortschreitende Bewegung am Ende in die drehende eines Hebelsystems verwandelt. Von den bekannteren Registrierapparaten macht allein das Quecksilbermanometer in Verbindung mit einem Schwimmer eine Ausnahme. Als solche Endapparate dienen entweder mit einer Schreibspitze versehene Stäbe, die Schreibhebel,

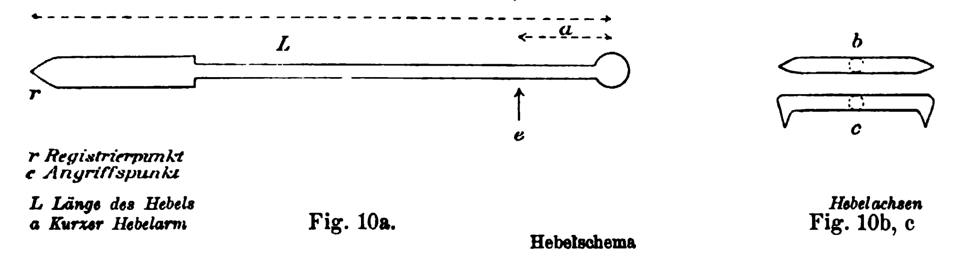


Fig. 10a. Hebelschema Fig. 10b, c

oder bei der wichtigsten optischen und photographischen Registrierung die Registrierspiegel. In manchen Fällen bildet der Hebel in Verbindung mit einem unausdehnbaren Faden das ganze Registrierinstrument, so bei dem Längenschreiber der Muskelzuckungen oder bei den kardiographischen Methoden, wie z. B. dem sogenannten Suspensionsverfahren.

Es ist von der höchsten Bedeutung, die mechanische Wirkungsweise dieser viel gebrauchten Instrumente zu analysieren. Zunächst verweise ich hierfür auf die Erörterungen S. 113 des Abschnittes Muskelphysiologie dieses Handbuchs von M. v. Frey. Ich ergänze sie durch einen Auszug aus meiner Abhandlung „Prinzipien der Konstruktion von Schreibhebeln“ in Zeitschr. f. Biol. 45, S. 480.

An dem Hebel sind folgende ausgezeichnete Punkte zu beachten (vgl. Fig. 10 a, b, c): die Achse, ferner der Punkt, an dem die Kraft angreift, d. h. der Angriffspunkt und der Registrierpunkt, die Schreibspitze. Der Angriffspunkt der Bewegung oder der Kraft ist bei den komplizierteren Systemen meist der Endpunkt des Systems, d. h. der Punkt, an dem die elastischen Übertragungsmittel endigen (s. Kap. 6, S. 35).

Die Achse kann in zweierlei Weise gelagert sein. Gewöhnlich sind ihre Enden zugespitzt und lagern in konischen Vertiefungen, deren Achse mit der

Richtung der Hebelachse übereinstimmt (s. Fig. 10b). Man kann eine derartige Lagerung als eine zwangsläufige bezeichnen. Mit viel weniger Reibung arbeitet eine Lagerung, bei der die Spitzen senkrecht zu der Hebelachse stehen (s. Fig. 10c), sich der Hebel also wie ein Wagebalken auf den konischen Lagern dieser Spitzen dreht. Wenn man es irgendwie einrichten kann, soll man die letztere Lagerung anwenden. Der Nachteil der ersten Anordnung besteht weniger darin, daß ihre Reibung größer, als daß sie unregelmäßig ist. Nähert man die konischen Lager einander zu sehr, so wird die Achse festgeklemmt. Dies kann schon durch Temperatureinflüsse bewirkt werden. Entfernt man sie zu weit voneinander, so schlottert die Achse. Die Anordnung stellt also außerordentliche Anforderungen an die Technik. Die Achsen, die sich nach der zweiten Anordnung drehen, habe ich als freie Achsen bezeichnet. Die Spitzen der freien Achsen müssen natürlich durch eine genügend große Kraft an die Unterlage angedrückt werden, sonst werden sie bei der Bewegung abgeschleudert. Diese Trägheitskraft hängt von der Beschleunigung, die dem Hebel erteilt wird, ab. Die Kraft, mit der der Hebel angedrückt wird, muß also immer größer sein als diese Trägheitskräfte[1]). Es ist daher sehr wichtig, den Auflagerungsdruck zu bestimmen, der durch die Trägheitskräfte erzeugt wird. Durch ihn wird die Kraft, mit der eine Feder oder die Schwere die Spitze andrücken muß, bedingt. Man wird diese Kraft nicht unnötig vergrößern, weil sonst die Spitze in die konische Vertiefung eingepreßt wird. Derartige freie Achsen wird man auch bei der Verbindung des Endpunktes eines komplizierteren Systems mit dem Hebel, die zur Verwandlung der gradlinigen in die drehende notwendig ist, anwenden, wie Petter und ich dies bei unserem Sphygmographen konsequent durchgeführt haben. Für diese Verbindung ist die Herstellung zwangsläufiger Lagerungen wegen der Kleinheit der Teile im allgemeinen noch schwieriger als bei der Lagerung der Hebelachse. Man konstruiert also hier viel besser diese Gelenke als freie Schlottergelenke und hält den an diesen Stellen entstehenden durch die Trägheitskräfte hervorgebrachten Auflagedrucken durch die Schwere oder durch Federkraft das Gleichgewicht. Wolff hat solche Verbindungen kraftschlüssige Gelenke genannt (s. Bd. II, Abt. III, S. 95 dieses Handbuchs, Artikel von v. Frey).

Danach kommt es für die Hebel auf folgende Größen an, die sämtlich von Bedeutung sind:

a) Das Drehungsmoment der bewegenden Kraft.

Es ist gleich der Größe der bewegenden Kraft, multipliziert mit der Entfernung des Angriffspunktes von der Achse.

b) Das Trägheitsmoment des Hebels.

Das Trägheitsmoment ist gleich dem Ausdruck $\Sigma(mr^2)$. In manchen Fällen kann es experimentell bestimmt werden, so bei solchen Apparaten, die durch die Schwere in Schwingungen versetzt werden können. Will man auf diese Weise z. B. bei einem gewöhnlichen Schreibhebel das Trägheitsmoment bestimmen, so lockert man seine Achse möglichst in den Lagern,

1) Die Reibung kann wohl stets vernachlässigt werden.



daß er leicht beweglich wird, und läßt ihn einige Schwingungen ausführen, deren Dauer entweder direkt durch Registrierung der Schwingungen auf einer berußten Trommel aufgeschrieben wird, oder optisch dadurch, daß man ihn vor einem beleuchteten Spalt schwingen läßt. Es entstehen dann entsprechend den Durchgangszeiten des Hebels durch den Spalt helle Striche auf der hinter dem Spalt sich bewegenden photographischen Platte. Außer der Schwingungsdauer hat man zu bestimmen die Entfernung s des Schwerpunkts von der Achse. Ich führe das so durch, daß ich den Hebel an einer Fadenschlinge aufhänge und ihn so lange in der Schlinge hin und her schiebe, bis er horizontal schwebt. Bei diesem Aufhängepunkt liegt der Schwerpunkt. Das Trägheitsmoment berechnet sich dann nach der Formel:

$$\Theta = \frac{T^2 M g s}{4\pi^2} \qquad (1)$$

In einer Reihe von Fällen wird es nicht möglich sein, auf diese Weise das Trägheitsmoment zu bestimmen, da der Apparat nicht in Schwingungen versetzt werden kann. So müßte man die Achse der freien Hebel (s. unten) immer erst passend umgestalten, wenn man mit ihnen Pendelschwingungen erzeugen wollte. Bei den Spiegelapparaten (s. Kap. 5) ist das ganze System so klein, daß es nur selten möglich sein wird, das Trägheitsmoment experimentell zu ermitteln. In allen diesen Fällen wird man am besten das Trägheitsmoment aus den Dimensionen und der Massenverteilung berechnen. Selbst wenn die Form des Körpers und die Massenverteilung nicht ganz genau bestimmbar ist, wird die Berechnung doch für die Schätzung der Leistung des Apparates genügend genau. Meistens reicht eine Genauigkeit bis auf 20 %. Die Ausdrücke für die Trägheitsmomente von häufig vorkommenden Körperformen finden sich in vielen Lehrbüchern der Mechanik. Ich habe einige der wichtigsten, wie sie für die Berechnung von Hebelachsen und Hebeln in Betracht kommen, in meiner oben zitierten Abhandlung (1903 S. 481) zusammengestellt. Sie werden für denjenigen, der sich über die Leistung seiner Apparate unterrichten will, sehr nützlich sein. Man sollte nie versäumen, auf Grund dieser Formeln die einfache Schätzung des Trägheitsmoments durchzuführen und die berechneten Werte zu protokollieren. Die Masse des Hebels allein anzugeben, hat keinen Sinn.

Ich gebe hier die wichtigsten Formeln wieder:

a) In den meisten Fällen kann der Hebel als eine gerade Strecke L mit gleichförmig verteilter Masse aufgefaßt werden. Seine Drehachse liegt senkrecht zu dieser Strecke an ihrem einen Ende. Masse der Längeneinheit $= \mu$. Gesamtmasse $= M$. Die Masse der Achse kommt hier nicht in Betracht. Trägheitsmoment:

$$\Theta = \frac{L^3}{3}\mu = \frac{M L^2}{3} \qquad (2)$$

b) Kreisfläche (Radius r) gleichmäßig mit Masse belegt. Masse der Flächeneinheit $= \mu$. Achse ein Durchmesser des Kreises. So ist ein Registrierspiegel gestaltet.

$$\Theta = \frac{r^4 \pi}{4}\mu = \frac{M r^2}{4} \qquad (3)$$

c) Parallelepiped von den Seiten 2a, 2b, 2c. Achse parallel durch die Mitte der zu a senkrechten Fläche. Dichte $= \sigma$.

$$\Theta = \frac{8\,abc\,(b^2 + c^2)\,\sigma}{3} = \frac{M\,(b^2 + c^2)}{3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

d) Moment eines Zylinders. Radius $= r$. Höhe $= h$. Drehachse die geometrische Achse.

$$\Theta = \frac{r^4 \pi h \sigma}{2} = \frac{M r^2}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

e) Moment eines Zylinders. Drehachse am Ende des Zylinders senkrecht zu seiner geometrischen Achse.

$$\Theta = M\left(\frac{h^2}{3} + \frac{r^2}{4}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Ist r klein gegenüber h, so kann man die Formel (1) benutzen.

f) Moment eines Konus von der Höhe h und dem Radius r der Grundfläche. Drehachse die geometrische Achse des Konus.

$$\Theta = 0{,}3\,M r^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

g) Moment eines Konus. Drehachse senkrecht zu der geometrischen Achse durch die Spitze des Konus.

$$\Theta = 0{,}6\,M\left(h^2 + \frac{r^2}{4}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

c) Reduzierte Masse des Hebels.

Wie oben auseinandergesetzt wurde, handelt es sich bei den Registrierungen fast immer um die Umwandlung einer geradlinig fortschreitenden Bewegung in eine drehende Bewegung. So wird z. B. die geradlinige Bewegung des Mittelpunktes einer Manometermembran in eine drehende des Hebels verwandelt. An der Verbindungsstelle dieser beiden Apparatteile müssen entsprechende Schaltstücke für die Umwandlung der einen Bewegung in die andere angebracht sein. Für die Analyse des Systems ist es von grundlegender Bedeutung, die Massenwirkung der einen Bewegung zu derjenigen der anderen summieren zu können. Da die Winkelbewegung des Hebels immer nur klein ist, so kommen die Änderungen, die der im allgemeinen rechte Winkel zwischen geradliniger Bewegung um den Hebel erfährt, nicht in Betracht. Es ist die Massenwirkung des Hebelsystems zu ersetzen durch die Wirkung einer Masse, die sich ebenso bewegt wie der Angriffspunkt (s. Kritik S. 554). Der wichtige Ausdruck für diese reduzierte Masse lautet einfach: Die reduzierte Masse des Hebels, d. h. diejenige Masse, die, an der Verkoppelungsstelle der fortschreitenden und der drehenden Bewegung angebracht, dieselbe Wirkung auf die Bewegung des Systems ausübt wie der Hebel, ist gleich dem Trägheitsmoment Θ des Hebels, dividiert durch das Quadrat der Entfernung der Verkoppelungstelle von der Achse a.

$$m = \frac{\Theta}{a^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Durch die Aufstellung dieses Begriffes wird die mechanische Analyse aller Hebelapparate, so der Muskelhebel, des Sphygmographen, der Hebelmanometer und der Mareyschen Kapsel, außerordentlich erleichtert.

Aus der Formel kann man eine für die Konstruktion der Schreibhebel sehr wichtige Folgerung ziehen. Berechnet man die reduzierte Masse eines Hebels mit gleichförmig verteilter Masse — im allgemeinen kann man alle Schreibhebel als solche Gebilde auffassen (s. Formel 2) — so erhält man folgenden Wert: ($v =$ Hebelvergrößerung)

$$m = \frac{v^2 L \cdot \mu}{3} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (10)$$

Man sieht, daß die Größe der reduzierten Masse nicht allein von der Hebelvergrößerung abhängt, sondern auch noch von der Länge. Es resultiert hieraus die Vorschrift, die Hebel möglichst kurz zu gestalten. Sehr klar wird dies, wenn man die Güte des Hebelsystems, dieses als bewegungsregistrierendes System aufgefaßt, nach der Definition in Kapitel 6, Formel 31 berechnet. Sie wird zu:

$$G = \frac{v}{m} = \frac{3}{v L \mu} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (11)$$

Die Verkürzung des Hebels findet aus technischen Gründen ihre Grenze dadurch, daß man, um die nötige Vergrößerung zu erzielen, den kurzen Hebelarm a (s. Fig. 10a) zu klein machen muß. Wie Petter gezeigt hat („Kritische Studie" S. 34), kann, um diesen technischen Schwierigkeiten zu entgehen, ein Doppelhebel angewandt werden, dessen reduzierte Masse bei zweckmäßiger Konstruktion nicht wesentlich größer zu sein braucht als diejenige des einfachen kurzen Hebels. Die reduzierte Masse dieses Systems bestimmt sich nämlich nach der Beziehung

$$m = \frac{\mu}{3} v^2 \left(\frac{L_1}{v_2^2} + L_2 \right).$$

Sie ist also nur unwesentlich größer als in dem Fall, wenn nur der einfache zweite Hebel die ganze Vergrößerung v übernimmt. Diese Konstruktion besitzt alle Vorteile eines einfachen kurzen Hebels. Der kurze Hebel ist um so vorteilhafter, als er, ohne die Gefahr von dynamischen Durchbiegungen (s. unten) befürchten zu müssen, wesentlich dünner gehalten werden kann als der lange Hebel, d. h. seine spezifische Masse kann wesentlich kleiner als bei diesem genommen werden. Wenn also die Krümmung der Ordinaten, die stets bei der Registrierung durch Seitenschreibung vorhanden ist, nicht zu sehr stört, wird man immer einen kurzen Hebel einem langen vorziehen.

d) Das Drehmoment, das durch die Schwere hervorgebracht wird.

Das Drehmoment, das durch die Schwere des Hebels erzeugt wird, ist gleich dem Produkt aus dem Gewicht des Hebels mit der Entfernung des Schwerpunktes von der Drehachse in horizontaler Richtung gemessen. Es ist also für den horizontal gelagerten Hebel

$$= Mg \cdot s, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (12)$$

wenn s die Entfernung des Schwerpunktes von der Achse beträgt.

e) Der Auflagedruck an der Achse.

Durch eine in der Entfernung p von der Achse angreifende Kraft P wird an der Achse der Auflagedruck hervorgerufen:

$$A = \frac{P(a-p)}{a} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (13)$$

Die Schwere des Hebels bringt folgenden Auflagedruck hervor:

$$A = \frac{Mg(a-s)}{a} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (14)$$

Die Trägheitskräfte, die aus der dem Hebel erteilten Geschwindigkeit oder der Beschleunigung resultieren, rufen einen Auflagedruck hervor. Seine Horizontalkomponente, durch die Zentrifugalkraft erzeugt, ist gleich:

$$A = \left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 Ms = \left(\frac{da}{dt}\right)^2 \frac{Ms}{a^2} \quad \ldots \ldots \quad (15)$$

$\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right.$ = Winkelgeschwindigkeit, $\frac{da}{dt}$ = Geschwindigkeit des Angriffspunktes).

Die senkrechte Komponente des durch die Trägheitskräfte erzeugten Auflagedrucks ist gleich:

$$\frac{1}{a}\frac{d^2\vartheta}{dt^2} = (\Theta - Msa) = \frac{d^2a}{dt^2}\left(\frac{\Theta}{a^2} - \frac{Ms}{a}\right) \quad \ldots \ldots \quad (16)$$

Liegt die Achse in einer Vertiefung, so muß man die Kraft, welche die Achse entlang der Seitenflächen der Vertiefung zum Gleiten zu bringen sucht, durch Zerlegung des horizontalen und senkrechten Auflagedrucks in die entsprechenden Komponenten berechnen.

f) Der Auflagedruck an dem Angriffspunkt (Rückwirkung).

Durch die oben definierte Kraft P wird ein Auflagedruck erzeugt, gleich:

$$\frac{Pp}{a} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (17)$$

Die Schwere des Hebels bewirkt einen Auflagedruck von:

$$\frac{Mgs}{a} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (18)$$

Die Trägheitskräfte erzeugen einen Druck von:

$$-\frac{\Theta}{a^2}\frac{d^2a}{dt^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (19)$$

Spezielle Beispiele für diese wichtigen Größen sind in der zitierten Abhandlung (1903) angegeben.

g) Die dynamischen Durchbiegungen des Hebels.

In meiner Abhandlung über die Hebel ist abgeleitet, daß die dynamischen Durchbiegungen des Hebels, die theoretisch immer entstehen, wenn dem Hebel eine bestimmte ungleichförmige Bewegung erteilt wird, die sogenannten Erzitterungen, um so kleiner ausfallen, je kürzer die Dauer der Grundschwingung des eingeklemmten Hebels und um so größer seine Reibung, besonders die innere, ist.

Eine einfache Berechnung ergibt nun, daß die Grundschwingung für einen hohlen Stab, der denselben äußeren Durchmesser wie ein massiver Stab hat, nicht eine größere Dauer, sondern eine kleinere als für den massiven besitzt. Die beiden Werte sind nämlich:

$$T = 3{,}594 \frac{L^2}{r} \sqrt{\frac{\sigma}{E}} \quad \text{und} \quad 3{,}594\, L^2 \sqrt{\frac{\sigma}{E\,(R^2 + r^2}} \quad . \; . \quad (20, 21)$$

Ein hohler Stab ist also einem massiven in bezug auf die geringe Entstellung der Kurven durch die dynamischen Durchbiegungen überlegen. Da ein hohler Stab aber ein wesentlich geringeres Trägheitsmoment besitzt als ein massiver, so ist er dem letzteren stets vorzuziehen. Das ist auch der Grund, warum Strohhalme so geeignete Materialien für die Herstellung von Schreibhebeln darstellen. Die Verwendung von organischem Material empfiehlt sich überhaupt, weil es relativ zur Dichte einen großen Elastizitätskoeffizienten und vor allem eine starke innere Reibung besitzt. Metalle sind ungeeignet.

B. Praktische Folgerungen aus der Theorie.

Die wichtigste Konsequenz, die sich aus den mathematischen Beziehungen ergibt, ist die, daß die Hebel möglichst kurz zu halten und daß sie aus organischem Material, am besten aus hohlen Strohhalmen zu bilden sind. Hebellängen von 15 oder gar 25 cm sind jedenfalls zu vermeiden. Wie stark die reduzierte Masse verkleinert werden kann, geht aus folgendem Beispiel hervor. Für einen 10 cm langen Hebel wende ich einen Strohhalm an, dessen spezifische Masse = 0,01 g pro Zentimeter Länge beträgt. Er macht festgeklemmt ca. 100 Schwingungen in der Sekunde. Wendet man einen nur 5 cm langen Hebel an, so kann man ihn so dünn machen, daß seine spezifische Masse nur noch 2 mg pro Zentimeter beträgt, ohne daß die Erzitterungen mehr hervortreten würden. Seine reduzierte Masse beträgt bei der gleichen Hebelvergrößerung im letzteren Fall nur den zehnten Teil derjenigen des langen Hebels. Bei einer Vergrößerung von über 20 wird man in diesem Fall doppelte Hebelübersetzung anwenden. Wenn die Vergrößerung verändert wird, ist zu beachten, daß dadurch die reduzierte Masse verändert wird (s. Formel 10). Gegengewichte müssen immer nahe der Achse angebracht werden, damit das Trägheitsmoment nicht wesentlich verändert wird.

Will man bestimmen, mit welcher Kraft die Achse an die Lager oder der Angriffspunkt an die Unterlage (z. B. an die Platte einer Manometermembran usw.) angedrückt werden muß, so muß man bei den Kurven, die man mit dem Instrument erhalten hat, die maximale Beschleunigung (an

den Wendepunkten der Kurve) bestimmen und nach den Formeln (15), (16) und (19) die Auflagedrucke berechnen. Die Kräfte, mit denen das Hebelsystem angedrückt werden, müssen größer als diese Auflagedrucke sein.

Die Schreibspitze soll mit einer gewissen Kraft an die Papierfläche angedrückt werden, so daß sie nicht weggeschleudert werden kann. Der Druck darf aber auch nicht unnötig hoch sein. In der Richtung der Bewegung des Schreibhebels darf die Spitze nicht durchgebogen werden. Am besten scheinen Schreibspitzen aus dünnem Papier (Pergamin) gebildet zu werden. Von Herrn Bayliss ist mir eine Spitze empfohlen worden, die folgendermaßen zusammengesetzt ist. An den eigentlichen Hebel ist zunächst ein etwas dickeres Papierblättchen angesetzt. Daran angeklebt ist ein Streifen von getrocknetem Kalbsperitoneum oder Goldschlägerhäutchen, und weiter die eigentliche Schreibspitze, aus einem dreieckigen Zelluloidplättchen bestehend. Die Einschaltung des Peritoneums macht die Spitze außerordentlich biegsam. Ich habe die Überzeugung, daß man mit einer derartigen Kombination in jedem einzelnen Fall die Bedingungen für die Herstellung einer guten Schreibspitze erfüllen kann.

Die zur graphischen Registrierung benutzten Hebel werden im allgemeinen am besten so konstruiert, daß ihre Richtung tangential zu dem Registrierzylinder steht. Die Schreibfeder liegt dann von der Seite an. Man nennt diese Art der Hebelschreibung tangentiale oder Seitenschreibung. Die Seitenschreibung hat einen Nachteil, der aber nicht als wesentlich zu betrachten ist: Die Ordinaten stellen Kreisbögen dar. Ferner hebt sich die Schreibspitze bei dem Heben oder Senken des Hebels gegen die Horizontale (senkrechte Trommel) etwas von der Zylinderfläche ab, auch wenn der Hebel in der tangentialen Richtung steht. Der letztere Umstand kommt, wie schon Rollett nachgewiesen hat, gar nicht in Betracht. Ich berechne für das Abheben eines 10 cm langen Hebels bei einer Exkursion der Spitze von 1 cm von der Horizontalen: 0,01 mm und für einen 5 cm langen Hebel und denselben Ausschlag: 0,02 mm, wenn der Registrierzylinder wie gewöhnlich einen Umfang von 56 cm hat. Diese Entfernung wird selbstverständlich leicht von dem Druck der Schreibspitze gegen die Zylinderfläche ausgeglichen. Unregelmäßigkeiten in dem Papiere dürften etwa von derselben Größenordnung sein. Dagegen ist die Bogenschreibung zu berücksichtigen, besonders wenn es sich darum handelt, in verschiedenen gleichzeitig aufgeschriebenen Kurven die Punkte gleicher Zeiten festzustellen. Die Verkürzung der Hebellänge in der Abszissenrichtung beträgt für dieselben Hebellängen und denselben Ausschlag 1,1 und 2,3 mm. Man muß, wenn man die Punkte gleicher Zeiten feststellen will, entweder nach der Aufnahme auf der Trommel mit dem benutzten Hebel bei stillstehender Trommel Bogenordinaten durch die Kurven ziehen oder man kann sich auch einen Talon machen lassen, mit dem man auf dem von dem Zylinder abgeschnittenen Blatt die Ordinaten zieht. Die Krümmung der Ordinaten macht sich natürlich relativ am meisten bei langsamem Trommelgang bemerkbar.

Man hat besonders in früheren Zeiten versucht, den Nachteil der Bogenordinaten, den die Tangentialschreibung hat, durch Konstruktion von sogenannten Stirnhebeln zu beseitigen. Der Hebel steht hierbei radiär. Die

Spitze schreibt bei stillstehender Trommel gerade Linien in der Richtung der Zylinderachse. Aber diese Schreibung hat viel größere Nachteile als die erste. Unwesentlich ist der Umstand, daß keine Proportionalität zwischen der Winkeldrehung und der Größe der Ordinate vorhanden ist. Das ist für die Höhe der Ordinate bei der Seitenschreibung auch nicht der Fall. Höchst wichtig ist dagegen, daß sich die Spitze, und zwar in denselben Beträgen, wie oben für die Verkürzung ausgerechnet worden ist, bei dem Heben oder Senken von der Zylinderfläche abhebt, also um 1,1 bezw. 2,3 mm. Dieses Abheben der Schreibspitze muß durch eine federnde Vorrichtung ausgeglichen werden. Und mit dieser Vorrichtung kommen im allgemeinen große Massenwirkungen ins Spiel. Kann man wie bei dem Frank-Petterschen Sphygmographen die kleine Schreibfläche nach dem Kreis krümmen, den die Hebelspitze beschreibt, so läßt sich die Schreibspitze aus Papier anfertigen. Es genügt die Spannung des Papiers, um die Schreibspitze ebenso wie bei der tangentialen Schreibung, von der sich diese Stirnschreibung nicht mehr prinzipiell unterscheidet, anzudrücken. Im anderen Fall sind komplizierte Vorrichtungen notwendig, die das Trägheitsmoment so stark vergrößern, daß man auf die teilweisen Vorteile der Stirnschreibung verzichten wird. Die Federvorrichtung, die man zum dauernden Anlegen der Spitze des Stirnhebels notwendig hat, funktionieren auch technisch nicht gut. Um das Prinzip der Stirnschreibung zu veranschaulichen, bilde ich hier zwei Stirnhebel ab.

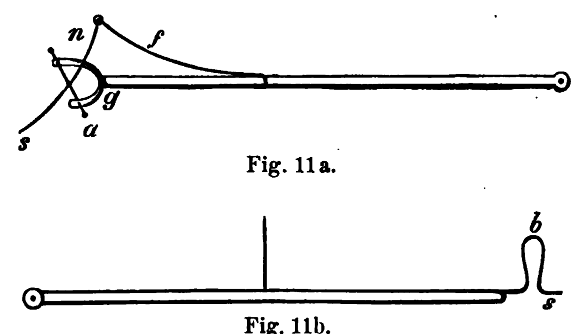


Fig. 11a.

Fig. 11b.

Zwei Formen von Stirnhebeln (nach Ludwig und Fick aus Langendorffs Graphik S. 52).

Otto Frank 1903. Prinzipien der Konstruktion von Schreibhebeln. Zeitschr. f. Biol., Bd. XLV, S. 480.

Ignaz Petter 1906. Kritische Studie zur Entwicklung des Sphygmographen. Dissertation Gießen.

Kapitel 5.

Optische Hilfsmittel der Registrierung. Spiegelapparate.

In vielen Fällen werden die Leistungen eines Apparates, bei dem Hebel verwandt worden sind, durch deren Massenwirkung wesentlich bestimmt. Will man ihre Leistung erhöhen, so muß man statt der Hebel

Spiegelsysteme anbringen, deren Trägheitsmoment man wesentlich kleiner als dasjenige von Hebeln bemessen kann.

Man kann die Spiegel in zweierlei Form anwenden, wie ich in einer Abhandlung (1904) auseinandergesetzt habe.

Entweder man bringt den Spiegel auf einem besonderen Gestell an, das sich ähnlich wie ein Hebel um eine Achse dreht. Von dem Gestell geht ein kurzer Hebelarm aus, dessen vorderes Ende bis zum Angriffspunkt der Kraft reicht. Wegen der Ungenauigkeit von zwangsläufigen Verbindungen ist es absolut notwendig, an diesen Stellen, der Achse und dem Angriffspunkt, das Prinzip der freien Achsen (s. Kap. 4 Fig. 10c) durch kraftschlüssige Verbindungen anzuwenden, so wie es aus dem Schema der Figur 12

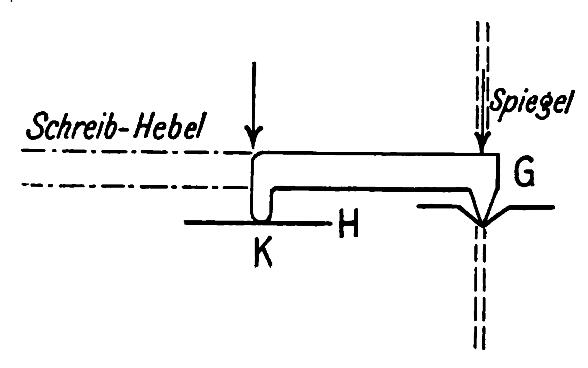


Fig. 12.
Schema des Registrierspiegels. (G Gestell, H Hebel, K Knopf.)

hervorgeht. In ihr bezeichnet G das eigentliche Gestell, H den kurzen Hebel, K den Knopf des Hebels, mit dem er an die Unterlage angedrückt wird. Die gestrichelten Linien, „Schreibhebel“, sollen andeuten, daß die eigentlichen Hebelsysteme sich an dieser Stelle weiter fortsetzen.

Man kann zeigen, daß selbst, wenn man das Trägheitsmoment des Gestells so klein wie möglich gestaltet, wie dies bei dem unten beschriebenen der Fall ist, es doch noch so groß bleibt, daß ihm gegenüber das Trägheitsmoment der kleineren Spiegel verschwindet. Man kann also einen kleineren Spiegel vorteilhaft nur dann anwenden, wenn man ihn unmittelbar auf die Membran selbst aufklebt.

Ich bespreche die wesentlichen Eigenschaften der verschiedenen Registrierspiegel und die Momente, die für ihre Konstruktion in Betracht kommen, die optischen Verhältnisse der Spiegelregistrierung und die Vorsichtsmaßregeln, die man bei dem Aufkleben der Spiegel gebrauchen muß.

A. Trägheitsmoment der Spiegel allein.

Nur in seltenen Fällen wird man Spiegel anwenden, die eine geringere Dicke als 0,2 mm besitzen. Sie verspannen sich sonst zu leicht. Der Spiegel wird im allgemeinen so gelagert, daß sein Durchmesser mit der Drehachse zusammenfällt.

Ein rückwärts versilberter und lackierter Spiegel von 0,2 mm Dicke besitzt nach meinen Wägungen, deren Resultate auch mit der Berechnung übereinstimmen, eine spezifische Masse von 0,06 pro qcm.

Das Trägheitsmoment derartiger kreisrunder Spiegel beträgt für einen Durchmesser von

$$D = 0{,}2\ \text{cm} = 4{,}7 \times 10^{-6}$$
$$= 0{,}3 = 23{,}9 \times 10^{-6}$$
$$= 0{,}4 = 75{,}4 \times 10^{-6}$$
$$= 0{,}5 = 184 \times 10^{-6}$$
$$= 1{,}0 = 2940 \times 10^{-6}$$

in absoluten Einheiten (s. Kap. 5 Formel 3).

Größere Spiegel wird man im allgemeinen nicht verwenden. Für Spiegel von anderer Dicke läßt sich das Trägheitsmoment leicht aus der Tabelle berechnen. Es ist proportional der Dicke.

B. Reduzierte Masse eines auf einem Gestell befestigten Registrierspiegels.

In der angezogenen Abhandlung habe ich ein Spiegelgestell angegeben, dessen Dimensionen so gewählt sind, daß sein Trägheitsmoment so klein ist, als es die technische Konstruktion erlaubt. Das Material ist überall dort eingespart, wo es möglich ist. Seine Achse ist eine freie, auf Spitzen gelagerte. Der Spiegel wird an dem Gestell so befestigt, daß sein Durchmesser mit der Drehachse zusammenfällt.

Der Abhandlung entnehme ich die Zahlen für die reduzierte Masse dieses Spiegelgestells von minimalem Trägheitsmoment. Die reduzierte Masse hängt ab von dem Material und von der Länge des kurzen Hebelarms. Das Material des Gestells ist Aluminium, wenn in der Tabelle nichts Besonderes angegeben ist. Der Knopf des Hebels ist 0,1 cm hoch, wenn nichts Besonders angegeben ist. Die Werte gelten für einen Spiegel von 1 cm Durchmesser.

Reduzierte Masse der Spiegelkonstruktionen in 10^{-3} g Einheiten = mg.

	Spiegel	Gestell	Hebel	Knopf	Tota
1 cm Spiegel.					
a) Hebel 0,5 cm Länge . . . 1.	11,8	9,1	2,1	2,0	25,1
Knopf 0,5 cm Höhe . . . 2.	—	—	—	10,2	33,2
b) Hebel 1,0 cm . . . . 3.	2,9	2,3	6,8	2,0	14,1
Gestell Messing . . . . . 4.	—	7,5	—	—	19,3
Hebel Hartgummi . . . . 5.	—	—	3,2	0,9	9,3
c) Hebel 2,0 cm . . . . 6.	0,7	0,6	13,6	2,0	17.0
Gestell Messing . . . . . 7.	—	1,9	—	—	18,3
Hebel Hartgummi . . . . 8.	—	—	6,3	0,9	8,5

Man entnimmt aus der Tabelle, was oben gesagt worden ist, nämlich daß eine weitere Verkleinerung des Spiegels die reduzierte Masse dieses Systems nicht wesentlich verringert, weil schon bei dem 1 cm großen Spiegel die reduzierte Masse des Spiegels gegenüber den übrigen Massen des Hebels und des Gestells zurücktritt. Der Spiegel muß also bei Membransystemen direkt auf die Membran aufgeklebt werden, wenn durch seine Verkleinerung die Trägheitskräfte verringert werden sollen.

C. Auf die Membran aufgeklebter Spiegel der „Segment- oder Herztonkapsel".

Ich habe zuerst eine Methode angegeben, die es ermöglicht, die Bewegung einer Membran durch einen auf sie unmittelbar aufgeklebten Spiegel zu registrieren. Dem Rand der Trommel, auf welche die Membran aufgespannt ist, habe ich eine eigentümliche Form gegeben, durch die erreicht wird, daß die Bewegungen des Spiegels fast streng um eine Achse erfolgen. Der Rand bildet nämlich nicht einen vollen Kreis, sondern einen mindestens 180 Grad umfassenden Bogen, der durch eine Sehne geschlossen wird. Der Spiegel wird so aufgeklebt, daß er sich um diese Sehne als Achse dreht. Es gelingt zwar auch mit einer kreisrunden Trommel[1]), die seitlichen Exkursionen des Spiegels zu verhindern, wesentlich sicherer aber mit der von mir beschriebenen Vorrichtung. Sie wird im Abschnitt Hämodynamik Kap. „Lufttransmission" näher beschrieben.

Czermak und später Bernstein haben für die Sphygmographie einen Spiegel unmittelbar auf die pulsierende Stelle aufgeklebt. Das Nähere findet sich im Abschnitt: „Hämodynamik" Kap. „Sphygmographie".

D. Die optischen Verhältnisse eines Registrierspiegels. Die optische Vergrößerung.

Die Bewegungen des Spiegels setzen einen auf ihn fallenden Lichtstrahl in drehende Bewegung. Die Spitze des Lichtstrahls, der Registrierpunkt, zeichnet die Kurve auf dem photographischen Film auf.

Ist der kurze Hebelarm des Spiegels = a und die Länge des Lichtstrahls = L, so beträgt die Vergrößerung im allgemeinen 2L/a.

Aber dies ist nicht immer der Fall. Nämlich nur dann, wenn der auffallende Lichtstrahl in derselben Ebene liegt, in der sich das Einfallslot des Spiegels bewegt. Der reflektierende Strahl liegt dann auch in derselben Ebene. Die von dem Lichtstrahl beschriebenen Ordinaten sind gerade Linien.

Anders, wenn der einfallende Strahl nicht in dieser Ebene liegt. Dann beschreibt die Spitze des Lichtstrahls nicht mehr eine gerade Linie bei stillstehender Platte, sondern Kreisbogen, und die Vergrößerung ist geringer als in dem ersten Fall, nämlich gleich 2L/a, multipliziert mit dem Kosinus des Winkels, den der auffallende Strahl mit der Ebene bildet, in der sich das Lot bewegt.

Ist dieser Winkel klein, so sind die Abweichungen der Ordinaten von der Geraden nur gering.

E. Befestigung von Registrierspiegeln auf der Unterlage.

Bei der Befestigung der Registrierspiegel hat man sehr darauf zu achten, daß sich die dünnen Spiegel nicht „verspannen". Je größer der

1) Hürthle hat nach meiner ersten Mitteilung über die Konstruktion angegeben, daß er eine ähnliche kreisförmige schon früher in Auftrag gegeben habe, daß er aber nur unbefriedigende Resultate, besonders wegen der seitlichen Exkursionen erhalten habe. s. Zentralbl. f. Physiol. 18, S. 617.



Spiegel ist, um so leichter verspannt er sich. Ich klebe den Spiegel immer nur an zwei kleinen Flächen etwa von der Größe 1 qmm mit dem aufgelösten Gummi auf, wie er zum Reparieren der Gummireifen verwendet wird. Gummi arabicum wird zu hart und verspannt bei dem Trocknen den Spiegel.

Die Güte des Objektivs spielt nur eine geringe Rolle.

Die Vergrößerung des Ausschlags kann auch durch optische Methoden, durch mikroskopische Projektion oder durch Registrierspiegel nicht beliebig gesteigert werden. Bei stärkerer mikroskopischer Vergrößerung wird die Einstellung zu schwierig, das Bild lichtschwach und der Rand der Marken unscharf. Macht man bei Spiegeln den reflektierenden Strahl zu lang, so treten dieselben Übelstände auf, besonders die Unschärfe bei den durch Verspannung gekrümmten Spiegeln.



Fig. 13.
Anordnung der Spiegelregistrierung mit Kymographion.

F. Die Anordnung des optischen Apparates.

Wendet man eine Vergrößerung des Ausschlags durch das Mikroskop an, so wird der Apparat so angeordnet wie bei der Registrierung der Kapillarelektrometerschwankungen oder Bewegungen des Saitengalvanometers. Ich verweise hier auf die betreffenden Kapitel.

Viel bequemer sind Spiegelapparate. Sie sind bei hämodynamischen und ähnlichen Untersuchungen nach meiner Erfahrung am besten anzuwenden. Die Anordnung, die ich auf Grund vieler Versuche als zweckmäßig betrachte, ist in der Zeitschrift für biologische Technik und Methodik Bd. I beschrieben. Der Hauptteil ist das glühende Stäbchen einer Nernstlampe N, von dem durch ein, oder bei mehreren gleichzeitigen Registrierungen mehrere, photographische Objektive O vergrößerte Bilder in der Ebene der photographischen Platte entworfen werden (Fig. 13). Die Strahlen passieren von dem glühenden Stäbchen ausgehend zunächst einen Hebel U, der mit dem Anker einer Weckeruhr verbunden, den Lichtstrahl in zur Zeitmarkierung geeigneten Intervallen unterbricht. Dann gelangen sie durch die Öffnung der Objektive zu den Spiegeln K, werden von ihnen reflektiert und beschreiben mit ihrer Spitze auf der photographischen Platte die Kurven. Vorher wird durch einen Spalt aus dem Bild des glühenden Stäbchens ein möglichst schmaler Streifen ausgeschnitten. Durch Einschaltung einer Zylinderlinse

hinter dem Spalt erreicht man, daß die Lichtstärke dieses schmalen Streifens nicht zu klein wird. Wie man aus der Beschreibung der Anordnung entnimmt, kann man zu gleicher Zeit drei und mehr Spiegelbewegungen registrieren, was bei der Anwendung der mikroskopischen Projektion wohl möglich ist, aber mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist. Die Beschreibung der einzelnen Apparate, bei denen Spiegelregistrierung verwendet wird, findet sich in den entsprechenden Teilen des Handbuchs.

Frank, O., 1904. Konstruktion und Durchrechnung von Registrierspiegeln. Zeitschr. f. Biol. Bd. XLVI, S. 421—440.

Kapitel 6.

Prinzipien der graphischen Registrierung.

A. Allgemeine Mechanik.

In den einschlägigen Abschnitten des Handbuches werden die Leistungen der einzelnen Registriermethoden eingehend gewürdigt. In dem vorliegenden Kapitel diskutiere ich die allgemeinen Prinzipien der graphischen Registrierung, die Theorie der Registrierinstrumente. Die Vorrichtungen zur Bewegung der Schreibfläche sind schon in einem früheren Kapitel beschrieben worden.

Auf Grund einiger Vorarbeiten läßt sich jetzt eine ausreichende Theorie für alle Methoden der graphischen Registrierung entwickeln. Befriedigend durchgeführt war sie bis jetzt nur für die elastischen Manometer, während die Lufttransmission und die übrigen Registriermethoden noch nicht nach allgemeinen Grundsätzen behandelt sind.

Durch die graphische Registrierung sollen die zeitlichen Verhältnisse eines mechanischen Vorgangs in Form einer Kurve oder eines Kurvensystems aufgezeichnet werden. Das System, in dem sich dieser Vorgang abspielt, heißt das beobachtete System. Mit ihm muß ein System, das Registriersystem, gekoppelt werden, das die Aufzeichnung ermöglicht. Enthält das Registriersystem wie fast stets träge Massen und erfolgen seine Bewegungen nicht reibungslos, so gibt die registrierte Kurve nicht ein getreues Abbild des mechanischen Vorgangs wieder, sondern sie ist durch die Wirkung der Trägheitskräfte und der Reibungskräfte des Registriersystems entstellt. Man kann die Beziehungen zwischen dem Vorgang und der registrierten Kurve nicht mehr aus statischen Verhältnissen feststellen, indem man den Ausschlag des Systems für bekannte mechanische Vorgänge ermittelt, oder wie man sich ausdrückt, das Registriersystem eicht, sondern man muß die dynamischen in Betracht ziehen. Nur bei rein optischer Registrierung, etwa bei dem Kinematographen, findet eine derartige Entstellung nicht statt.

Durch den mechanischen Vorgang, der sich in dem beobachteten System abspielt, wird das Registriersystem in Bewegung, Mitbewegung, versetzt. Zugleich übt aber die Verkoppelung des Registriersystems mit dem beobachteten auch eine Rückwirkung auf das beobachtete System aus.

Die Aufgabe der Theorie ist es, das System als mechanisches zu charakterisieren, diejenigen Größen allgemein anzugeben, von denen die Entstellung und die Rückwirkung abhängt, und die Beziehung zwischen ihnen, der Entstellung und der Rückwirkung, in eine leicht übersehbare Form zu bringen. Ist dies geschehen, so wird es möglich, für jedes Registriersystem die Entstellung des Vorgangs durch das Registriersystem zu ermitteln oder die Kurven zu korrigieren sowie die Rückwirkung festzustellen. Ferner gibt die Theorie die Mittel an die Hand, Registriersysteme zu bilden, die ein Minimum von Entstellung oder von Rückwirkung aufweisen, so daß beide für bestimmte experimentell zu ermittelnde Anforderungen bedeutungslos werden.

Ohne eine Theorie der Instrumente ist es in den meisten Fällen, wie die geschichtliche Entwicklung gelehrt hat, nicht möglich, die mit großer Schnelligkeit sich abspielenden mechanischen Vorgänge im tierischen Körper festzustellen oder bei der Konstruktion der Instrumente einen fortschreitenden Gang einzuschlagen. Die Geschichte dieser Bestrebungen zeigt, daß ohne den Leitfaden dieser Theorie nur ein planloses Arbeiten stattfindet.

Ein mechanischer Vorgang ist als bekannt zu betrachten, wenn die wirkenden Kräfte und die resultierenden Bewegungen, oder die beiden Faktoren der Arbeit, festgestellt sind. Die graphische Registrierung hat die Aufgabe, die zeitlichen Veränderungen dieser Faktoren in dem beobachteten System zu ermitteln. Danach wird man die Instrumente einteilen in kraftregistrierende und bewegungsregistrierende.

Der Kraftfaktor kann als Kraft im gewöhnlichen Sinn, Punkt- oder Massenkraft auftreten oder auch als Flächenkraft, spezifische Spannung, hydrostatischer Druck. Auf der anderen Seite handelt es sich um lineare Bewegungen oder um Volumveränderungen bzw. Bewegungen.

Kraftregistrierende Instrumente sind z. B. der Hebel, der die Spannungen des Muskels aufschreibt, die Manometer und der Sphygmograph. Bewegungsregistrierende Instrumente sind die Längenschreiber für die Muskelzuckung, ferner die Mareysche Kapsel in Verbindung mit der Lufttransmission, der Pistonrekorder usw. (s. unten).

Bei den kraftregistrierenden Instrumenten wird die messende Kraft des beobachteten Systems in das Gleichgewicht mit einer anderen bekannten gesetzt. Diese bekannte Kraft muß entsprechend der einwirkenden Kraft sich ändern, damit das geforderte Gleichgewicht eintritt. Die in dem Registriersystem wirkende Kraft muß also den Charakter von elastischen Kräften haben. Aus den Deformationen des zur Messung verwendeten Teils des Registrierinstrumentes wird auf die Größe der einwirkenden beobachteten Kraft geschlossen. So werden bei dem Spannungsschreiber eine Feder zur Erzeugung der Gegenkraft, bei den elastischen Manometern im engeren Sinn elastische Membranen verwendet. Daß auch das Quecksilbermanometer als ein elastisches aufzufassen ist, wird noch gezeigt werden.

Die bewegungsregistrierenden Instrumente sind leicht bewegliche Systeme, d. h. solche, die durch das beobachtete System in Mitbewegung gesetzt werden, ohne daß eine merkbare Rückwirkung durch die Bewegung in Form einer Kraft ausgeübt wird.

Die Kräfte und Bewegungen des beobachteten Systems müssen möglichst so aufgezeichnet werden, wie sie ohne die Verkoppelung mit dem Registriersystem vorhanden sind. Die Rückwirkung auf das beobachtete System muß möglichst klein sein. Das Anlegen eines kraftregistrierenden Instrumentes an das beobachtete System darf an dessen Bewegungen keine wesentlichen Änderungen hervorbringen. Auf der anderen Seite darf das Ankoppeln eines bewegungsregistrierenden Systems keine Kraftveränderung in dem beobachteten erzeugen.

Die Rückwirkung eines kraftregistrierenden Systems bemißt sich nach der Änderung der Bewegung, die es hervorruft, die Rückwirkung eines bewegungsregistrierenden Systems nach der Kraftveränderung, die es erzeugt.

Ein kraftregistrierendes System muß deshalb möglichst isometrisch funktionieren, d. h. seine Deformationen, die durch die einwirkende Kraft hervorgebracht werden, müssen möglichst gering sein.

Umgekehrt muß ein bewegungsregistrierendes Instrument möglichst isotonisch funktionieren. Dies sind die statischen Vorbedingungen für die Konstruktion dieser Instrumenttypen. Die gesamte Rückwirkung, die statische und dynamische, bemißt sich nach den unten entwickelten Beziehungen.

Die mathematische Analyse der Bewegungen der Registriersysteme beruht auf der Theorie der Mitschwingungen. Die periodisch veränderliche Kraft oder Bewegung des beobachteten Systems versetzt das Registriersystem in Mitschwingungen, sie bewirkt „erzwungene Schwingungen" des Registriersystems.

Die allgemeine Beziehung für die Bewegung derartiger Systeme läßt sich durch folgende Gleichung ausdrücken: Die einwirkende Kraft ist gleich der Summe aus der elastischen Kraft, der Trägheitkraft und der dämpfenden Kraft. Sie nimmt die Form einer Differentialgleichung an, die integriert werden kann, wenn die zeitlich veränderliche einwirkende Kraft in einer Fourierschen Reihe entwickelt ist. Wichtiger als die Diskussion dieses Integrals, das jedoch einige bemerkenswerte Folgerungen zuläßt, ist die Diskussion der ursprünglichen Differentialgleichung. Die Gleichungen werden in der allgemeinen Dynamik (s. Abschnitt E unten) entwickelt. Sie ermöglichen die Berechnung der Korrekturen der von dem Instrument aufgeschriebenen Kurven und der Rückwirkung, welche durch die Bewegung des Registriersystems auf das beobachtete ausgeübt wird.

Eine anschauliche Übersicht über die Verhältnisse wird am besten erhalten, wenn man von einem besonderen Fall dieser erzwungenen Schwingungen ausgeht, dem Fall der Resonanz. Resonanz tritt dann ein, wenn die Periode der einwirkenden Schwingung, der Veränderung der Kraft oder der Bewegung, übereinstimmt mit der Periode der Eigenschwingung des in Mitschwingung versetzten Systems. Eine Eigenschwingung führt dieses aus, wenn es, durch irgendeinen Anstoß in Bewegung versetzt, sich selbst überlassen bleibt, ohne daß eine veränderliche Kraft oder Bewegung einwirkt. Im Fall der Resonanz wird der schwingende Körper bei mäßiger Dämpfung in stärkere Bewegung versetzt, als sie aus der statischen Einwirkung der Kraftveränderung oder der Bewegung resultieren

würde. Das ist jedenfalls ein Verhältnis, wie es bei der graphischen Registrierung vermieden werden soll, wenn es auch sehr oft herbeizuführen gesucht worden ist, um möglichst große Ausschläge zu erhalten. Ein weiterer Fall ist der, daß die Periode der Eigenschwingung des registrierten Systems länger ist als diejenige der einwirkenden Schwingung. Dann tritt, wie die Theorie lehrt, auch wenn man dem Punkt der Resonanz sich noch nahe befindet, eine Abschwächung der Bewegungen des mitschwingenden Systems ein. Sie werden kleiner, als sie nach den statischen Verhältnissen zu erwarten wären. So darf das Registriersystem auch nicht gestaltet sein. Ist zum Schluß die Dauer der Eigenschwingung des registrierenden Systems wesentlich kürzer als diejenige des beobachteten Systems, so verzeichnet das Registriersystem, nicht unendlich kleine Dämpfung vorausgesetzt, die einwirkende Schwingung richtig.

Berücksichtigt man hierbei, daß jede noch so komplizierte periodische Bewegung in Fouriersche Reihen auflösbar ist, d. h. aus Teilschwingungen zusammengesetzt gedacht werden kann, so kann man den Satz aussprechen: eine richtige Registrierung wird bei einer derartigen Bewegung dann erfolgen, wenn die Eigenschwingung des Registrierinstrumentes wesentlich kürzer ist als irgendeine der Teilschwingungen der Fourierschen Reihe.

Das Prinzip kann man sich leicht durch folgendes Experiment veranschaulichen. Man suche ein Schnurpendel, das man in der Hand hält, durch Bewegungen der Hand in Schwingungen zu versetzen. Man bewegt zunächst die Hand langsam hin und her, langsamer als die Eigenschwingungen des Pendels selbst sind. Das Pendel wird, ohne daß es in Eigenschwingungen gerät, den Bewegungen der Hand folgen. Dann beschleunige man die hin und her gehenden Bewegungen der Hand. Stimmt die periodische Bewegung der Hand überein mit der Dauer einer Pendelschwingung, so wird das Pendel in immer lebhafter werdende Schwingungen geraten. Jetzt ist der Punkt der absoluten Resonanz erreicht. Bewegt man die Hand noch rascher hin und her, so gerät das Pendel allmählich wieder in Ruhe. Bei genügend raschen Bewegungen der Hand wird es in Ruhe verharren und wird keine Andeutung von den Bewegungen der Hand geben. Genaueres hierüber siehe Winkelmanns Handbuch der Physik I, S. 408. Der erste der soeben geschilderten Fälle ist derjenige, der bei der Registrierung verwirklicht sein muß, die Eigenschwingungen des Registriersystems müssen kürzer als diejenigen der Bewegung sein. Selbstverständlich spielt die Dämpfung, deren Bedeutung in den Gleichungen der Dynamik gewürdigt wird, eine Rolle bei diesen Bewegungen, aber vor allem muß dem soeben entwickelten Prinzip Genüge geleistet sein. Die Feststellung der Eigenschwingungen der registrierenden Systeme ist deshalb von allergrößter Bedeutung.

B. Allgemeine Beschreibung der Registriersysteme.

Die registrierte Kurve wird auf einer gleichmäßig bewegten Fläche aufgeschrieben. Sie entsteht durch die lineare Bewegung der Schreibspitze auf der berußten Fläche oder bei Registrierung unter Benutzung von photographischen Hilfsmitteln, der optischen Registrierung, durch lineare Bewegung der Spitze eines Strahlenbündels. Diesen Punkt, dessen Bewegung die Kurve aufschreibt, nenne ich den Registrierpunkt.

Auf ihn soll die Bewegung von der Stelle aus, an der sich der mechanische Vorgang abspielt, übertragen werden. Diese Stelle heiße ich die Koppelstelle. Das Registriersystem reicht von der Koppelstelle bis zum Registrierpunkt.

Ist die Bewegung die am Anfang[1]) des Systems, an der Verkoppelungsstelle, erfolgt, nicht linear, sondern eine Volumbewegung, so muß sie durch eine an irgendeiner Stelle des Systems befindliche Übersetzung — Volumübersetzung — in eine lineare verwandelt werden. Derartige Übersetzungen können durch einen in einem Zylinder gleitenden Kolben oder durch eine Membran hergestellt werden, welche die beiden Teile des Systems, den Volumverschiebungen und den lineare Verschiebungen ausführenden, voneinander trennt. Für die Übertragung einer Volumverschiebung werden flüssige Medien angewendet, und zwar entweder Flüssigkeiten im gewöhnlichen Sinn, d. h. als inkompressibel aufzufassende, wie Wasser und dergl., oder elastische, wie Luft. Diese Flüssigkeiten werden in Röhrensysteme eingeschlossen. Bei den Manometern kommuniziert im allgemeinen die Flüssigkeit unmittelbar mit der Flüssigkeit, deren Druck gemessen werden soll, d. h. mit dem Inneren des Kreislaufsystems. In einigen Fällen, wie z. B. der unblutigen Druckmessung beim Menschen, ist eine direkte Kommunikation nicht vorhanden. Dann und bei der Übertragung von reinen Volumbewegungen, etwa bei der Plethysmographie oder der Kardiographie, findet eine Abdichtung des Anfangs des Röhrensystems an der Verkoppelungsstelle durch Membranen und andere Abdichtungsmittel statt. Die Verwendung von Flüssigkeiten, besonders der luftförmigen, als Übertragungsmittel ist äußerst bequem, weil dem Röhrensystem, den Schlauchverbindungen, leicht eine beliebige Form gegeben werden kann, so daß die Lage des Registrierpunktes und der Registrierfläche in weiten Grenzen unabhängig von der Lage der Verkoppelungsstelle bleiben kann. Eine derartige Übertragung findet als Lufttransmission vielfältige Anwendung. Die Bequemlichkeit der Anwendung dieses Verfahrens läßt es auch dann vorteilhaft erscheinen, wenn eine lineare Bewegung der Verkoppelungsstelle übertragen werden soll, wie z. B. bei dem Transmissionssphygmographen und ähnlichen Vorrichtungen. Ich nenne diese Übertragung die lineare Lufttransmission. Sie muß natürlich zwei Volumübersetzungen enthalten.

Im übrigen erfolgt die Übertragung der Bewegungen durch Fäden, d. h. leicht biegbare dünne Zylinder von festen Stoffen, die in den meisten Fällen als unausdehnbar aufzufassen sind, oder durch Hebel, d. h. durch unbiegsame Stangen.

Zu beachten ist, daß in manchen Fällen eine Flüssigkeit nicht mehr als inkompressibel, ein Faden als unausdehnbar und ein Hebel als unbiegsam betrachtet werden kann. Man muß sich immer vergewissern, ob diese in Wirklichkeit nie streng erfüllten Voraussetzungen zulässig sind.

In jedem System sind also im allgemeinen elastische Faktoren enthalten, ferner kommt für die Analyse der Bewegungen noch in Betracht die Größe der Massen und der Reibungswiderstände.

---

1) In der „Kritik“ habe ich die Koppelstelle das Ende des Systems genannt.

C. Bezeichnungen.

Um eine rasche Übersicht der in den Formeln ausgedrückten Beziehungen zu ermöglichen, habe ich die Bezeichnungen für die einzelnen Größen nach allgemeinen Prinzipien vorgenommen[1]).

Die Verkoppelungsstelle des Systems wird durch den Index k angegeben, die Registrierstelle durch den Index r. Der Anfang des Systems befindet sich auf der Verkoppelungsseite, das Ende auf der Registrierseite. Die Endübertragung der Bewegung erfolgt fast ausnahmslos durch einen Hebel im gewöhnlichen Sinn oder durch den Lichtstrahl. Beide sind als starr zu betrachten. Sie vergrößern die Bewegungen eines Punktes des Systems, an dem das elastische Übertragungsmittel endet. Die mechanische Analyse wird in einigen Fällen durchsichtiger, wenn man die Bewegungen dieses Punktes betrachtet. Ich bezeichne ihn als Endpunkt mit dem Index e. Die Hebelvergrößerung wird mit v, der kleine Hebelarm mit a, die Länge mit L $\left(\text{also } v = \frac{L}{a}\right)$ bezeichnet. Bisweilen, z. B. bei der linearen Lufttransmission, wird die Bewegung der Verkoppelungsstelle durch Hebelübersetzung auf den Anfangspunkt des elastischen Teils übertragen. Er erhält den Index a, Zwischenstellen des Systems werden mit 1, 2 bezeichnet.

B = Bewegung im allgemeinen,
f = lineare Verschiebung, V = Volumverschiebung,
Π = Kraft im allgemeinen,
P = Massenkraft, p = spezifische Flächenkraft (hydrostatischer Druck [usw.),
M = Masse im allgemeinen,
m = reduzierte Masse eines Hebels,
M' = wirksame Masse einer Flüssigkeit,
E = Elastizitätskoeffizienten im allgemeinen,
E' = Volumelastizitätskoeffizient, d. h. der Zuwachs des hydrostatischen Drucks, dividiert durch die ihn erzeugende Volumverschiebung,
η = linearer Elastizitätskoeffizient, d. h. der Zuwachs der Kraft durch die ihre erzeugende lineare Verschiebung.
$\varepsilon_{r,e}$ = Empfindlichkeit für den Registrier- oder Endpunkt im allgemeinen, d. h. die Verschiebung dieser Stellen, dividiert durch die zu erzeugende Bewegung oder Kraftänderung an dem Verkoppelungspunkt des Systems,
$\gamma_{r,e}$ = Kraftempfindlichkeit, d. h. Verschiebung des Registrier- oder Endpunktes dividiert durch die Veränderung der Kraft (Massen- oder Flächenkraft) an dem Verkoppelungspunkt,
$\beta_{r,e}$ = Bewegungsempfindlichkeit, d. h. der Ausschlag dividiert durch die lineare oder Volumverschiebung an dem Verkoppelungspunkt,
T = Schwingungszeit, N = Schwingungszahl des Registriersystems,
Q = Querschnitt, L = Strecke, I = Inhalt,
l = Länge als Variable,
$U = \frac{V}{f}$ = Volumübersetzung.

1) Diese Bezeichnungen lehnen sich zum Teil an die früher angewandten an, weichen aber im einzelnen davon ab.

D. Allgemeine Statik der Registriersysteme.

Die Statik liefert die Beziehungen zwischen den Bewegungen und den Kräften des Registriersystems, wenn die Bewegung unendlich langsam vor sich geht. Durch einen derartigen Vorgang werden die Empfindlichkeiten des Systems ermittelt, der Ausschlag des Systems bestimmt, das System wird geeicht. Die Empfindlichkeit des Systems soll im allgemeinen in dem ganzen Bezirk der Ausschläge konstant bleiben, d. h. zwischen dem Ausschlag des Registrierpunkts und der Größe des Vorgangs an der Koppelstelle soll Proportionalität bestehen. Daß dies niemals ganz streng der Fall ist und sein kann, ist selbstverständlich. Daß auf der anderen Seite starke Disproportionalität das Kurvenbild vollständig entstellen kann, ist besonders von v. Frey (1893) hervorgehoben worden. Man muß in solchen Fällen jedenfalls aus den Eichungen das Kurvenbild konstruieren, bei dem vorausgesetzt wird, daß die Ordinaten der zu bestimmenden Größe proportional sind. Geringe Disproportionalität von wenigen Prozenten stört bei der Betrachtung der Kurve nicht. Die Feststellung dieser Konstanten ist notwendig für die Verwertung der registrierten Kurve zur Bestimmung des Ablaufes der Bewegung oder der Kraftveränderung an der verkoppelten Stelle. Die allgemeine Statik behandelt ebenso wie die allgemeine Dynamik nur die Verhältnisse des ganzen Systems ohne Rücksicht auf seine Zusammensetzung aus den einzelnen Bestandteilen.

Wichtig ist zunächst die Feststellung der Kraft- und Bewegungsempfindlichkeit.

Die erstere bemißt sich nach der Definition aus der Beziehung

$$\frac{f_r}{\Pi} = \gamma, \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

worin f_r den Ausschlag des Registrierpunktes und Π die an dem Verkoppelungspunkt einwirkende Kraft (Massen- oder Flächenkraft) bedeutet.

Für die Bewegungsempfindlichkeit gilt die ähnliche Beziehung:

$$\beta = \frac{f_r}{B} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

Zur Berechnung der Rückwirkung ist noch die Bestimmung von weiteren Konstanten notwendig. Man muß hierzu die Kraft kennen, die notwendig ist, die Verkoppelungsstelle um einen gewissen Betrag nach der Registrierstelle hinzubewegen, wenn zugleich die Registrierstelle um einen bestimmten Betrag nach der Verkoppelungsstelle hinbewegt wird. Die Änderung der Kraft Π als totales Differential ist gleich der Summe der partiellen Änderungen, d. h. es gilt folgende Gleichung:

$$d\Pi = \frac{\partial \Pi}{\partial B} dB + \frac{\partial \Pi}{\partial f_r} df_r \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Hierin bedeutet $\frac{\partial \Pi}{\partial B}$ die Änderung der Kraft an der Verkoppelungsstelle, wenn sich die Verkoppelungsstelle allein nach der festgehaltenen Registrierstelle um einen gewissen Betrag hinbewegt. Ich bezeichne diesen Elastizitätskoeffizienten mit

$$E_K \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

Weiter bedeutet $\frac{\partial \Pi'}{\partial f_r}$ den Kraftzuwachs an der Verkoppelungsstelle, wenn die Registrierstelle allein bewegt wird, während sie selbst festgehalten wird. Ich bezeichne diesen Elastizitätskoeffizienten mit

$$E_r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Danach haben wir folgende Beziehung unter der Voraussetzung, daß die Bewegung an der Verkoppelungsstelle und der Registrierstelle im gleichen Sinne erfolgt:

$$\left(\frac{f_r}{\beta} \cdot E_K - f_r \cdot E_r\right) = \Pi \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Da $\frac{f_r}{\Pi} = \gamma$ ist, läßt sich noch folgendes ableiten:

$$\gamma = \frac{\beta}{E_K - \beta \cdot E_r}; \quad \beta = \frac{\gamma \cdot E_K}{1 + \gamma \cdot E_r}; \quad E_r = \frac{E_K}{\beta} - \frac{1}{\gamma}; \quad \ldots \quad (7)$$

d. h. der Koeffizient E_r braucht nicht besonders bestimmt zu werden, er läßt sich aus den drei anderen ermitteln.

Zu diesen Entwicklungen füge ich einige erläuternde Bemerkungen. Bei oberflächlicher Betrachtung könnte es scheinen, als ob die beiden Koeffizienten E_K und E_r identisch wären. Dies ist der Fall bei einigen einfacheren Systemen, so bei einem System, in dem sich zwischen dem Verkopplungspunkt und dem Registrierpunkt nur ein elastisches Medium befindet, z. B. eine Spiralfeder. Liegen dagegen Übersetzungen zwischen den beiden Punkten, so sind die Koeffizienten nicht mehr gleich. Man denke beispielsweise an das Chauveau-Mareysche Manometer. Bei ihm erfordert die Bewegung der Verkopplungsstelle um einen bestimmten Betrag eine viel größere Kraft, als die Druckwirkung beträgt, wenn man die Registrierstelle um denselben Betrag nach der Verkopplungsstelle hin bewegt.

Eine besondere Beachtung verdienen die Volumübersetzungen, die durch Membranen bewirkt werden. Sie hängen von der Art der Deformation der Membran ab, d. h. davon, ob die Membran paraboloide oder logarithmische Form annimmt (s. Bd. II, 4). Nun berücksichtigen die folgenden Entwicklungen bei der Berechnung der Rückwirkung naturgemäß nicht die Partialschwingungen. Die Deformationen werden also gerade so angenommen wie bei den statischen Verhältnissen. Bei optischen Registrierinstrumenten, deren Schlußteil aus einer Membran besteht, die nur mit verschwindenden Massen belastet ist, ist auch bei der Bewegung die Form nicht logarithmisch. Gesetzt den Fall, es handle sich um die lineare Lufttransmission, so besteht das System aus folgenden Teilen. Die Bewegung am Anfangspunkt wirkt durch die Platte der Senderkapsel auf die Membran, von hier durch die Luft auf die Membran, die Platte und den Hebel der Registrierkapsel und erzeugt die Bewegung f_r der Hebelspitze. Die Membran der Registrierkapsel nimmt dabei paraboloide Form an. Wenn man also den Koeffizienten E_K bestimmen will, so hat die Membran der Registrierkapsel ihre paraboloide Form beizubehalten. Da f_r und damit die Membran nach der Definition des Koeffizienten E_K festgehalten werden soll, so muß sie durch eine feste ebene Platte bei der Bestimmung ersetzt werden.

E. Allgemeine Dynamik der kraftregistrierenden Instrumente.

a) Korrektur der Entstellungen.

Die dynamische Grundgleichung lautet:

$$\Pi = \frac{f_r}{\gamma} + M \frac{d^2 f_r}{d t^2} + K \frac{d f_r}{d t} \quad \ldots \ldots \quad (8)$$

Die Dauer der Eigenschwingungen und die Größe der Dämpfung des Systems wird erhalten, wenn wir die Kraftänderung $= 0$ setzen. Dann erhalten wir

$$O = \frac{f_r}{\gamma} + M \frac{d^2 f_r}{d t^2} + K \frac{d f_r}{d t} \quad \ldots \ldots \quad (9)$$

Daraus folgt unter Vernachlässigung kleiner Abweichungen

$$M \gamma = \frac{T^2}{4 \pi^2} \quad \text{und} \quad K \gamma = \frac{D \cdot T}{\pi^2} \quad \ldots \ldots \quad (10)$$

(s. O. Frank „Kritik" 1903, S. 609).

Unter Einbeziehung dieser Größen erhalten wir die Schlußgleichung:

$$f_{corr} = f_{reg} + \left[\frac{T^2}{4\pi^2} \frac{d^2 f_r}{d t^2} + \frac{D T}{\pi^2} \frac{d f_r}{d t}\right] \quad \ldots \ldots \quad (11)$$
$$= \Pi \times \gamma,$$

d. h. wir können aus den Ordinaten der registrierten Kurve den wahren Ablauf der Kraftänderung an der Verkopplungsstelle (auch an jeder anderen Stelle des Registriersystems) oder die diesem Ablauf proportionalen Ordinaten der korrigierten Kurve ableiten, wenn wir die Größe

$$M \gamma = 0{,}02533\ T^2, \quad \ldots \ldots \quad (12)$$

die ich als fiktive Masse μ bezeichnet habe, und die Größe

$$K \gamma = 0{,}1013\ DT, \quad \ldots \ldots \quad (13)$$

die ich als fiktive Dämpfung $\varkappa$ bezeichnet habe [1]), aus der Eigenschwingung ermitteln. Die erstere wird bestimmt durch die Dauer der Eigenschwingungen, für die zweite ist noch die Kenntnis des logarithmischen Dekrements notwendig. Die Kenntnis der Größen M und K selbst ist nicht erforderlich. Ich bezeichne die Größe

$$\left[M \gamma \frac{d^2 f_r}{d t^2} + K \gamma \frac{d f_r}{d t}\right] \quad \ldots \ldots \quad (14)$$

als dynamische Korrektur (= dyn. Korr.) schlechtweg. Die absoluten Werte der Kraft Π an der Verkopplungsstelle ergeben sich aus der Beziehung

$$\Pi = \frac{f_{corr}}{\gamma}$$

(siehe Formel 1).

1) S. „Kritik" 1903, S. 605, auch von Einthoven in Ann. der Phys. 21 1906 angewendet.

Daß die Aufnahme eines konstanten Gliedes, wie etwa die Schwere eines Gewichtes, an der Schwingungsdauer und damit an der Korrektur nichts ändert, habe ich in der „Kritik“ S. 468 erörtert. Danach spielt auch die Schwere eines Hebels keine Rolle, wie vielfach irrtümlicherweise angenommen wird, so auch in den von Marey redigierten Sätzen der Pariser Kommission, die in dem Programm des V. Physiologenkongresses Turin 1901 niedergelegt sind. Entgegengesetzt diesen Behauptungen ist es für die Frage der Treue der Aufzeichnungen ganz gleichgültig, ob sich die Hebel um eine senkrechte oder horizontale Achse drehen. Es kommt nicht auf die Schwere, sondern auf die Masse der bewegten Teile an.

b) Rückwirkung.

Für die Rückwirkung gilt die folgende Gleichung:

$$\Pi = \mathrm{BE_k} - \mathrm{f_r\,E_r} = \frac{\mathrm{f_r}}{\gamma} + \frac{\text{dyn. Korr.}}{\gamma} \quad \ldots\ldots \quad (15)$$

Aus ihr folgt unter Berücksichtigung der statischen Beziehungen:

$$\mathrm{B} = \frac{\mathrm{f_{corr}}}{\beta} + \left[\text{dyn. Korr.}\left(\frac{1}{\gamma\,\mathrm{E_K}} - \frac{1}{\beta}\right)\right] \quad \ldots\ldots \quad (16)$$

Oder auch:

$$= \frac{\mathrm{f_{corr}}}{\beta} - \left[\text{dyn. Korr.}\,\frac{\mathrm{E_r}}{\mathrm{E_K}}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

oder

$$= \frac{\mathrm{f_r}}{\beta} + \frac{\text{dyn. Korr.}}{\gamma\,.\,\mathrm{E_K}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

Man sieht, daß zur Bestimmung der Rückwirkung, die sich nach der an der Koppelstelle auftretenden Bewegung bemißt, außer der Kenntnis der dynamischen Korrektur und der Kraftempfindlichkeit noch die Bewegungsempfindlichkeit und der Elastizitätskoeffizient $\mathrm{E_k}$ notwendig ist.

Den Ausdruck in der eckigen Klammer der Formeln 16 und 17 nenne ich die dynamische Rückwirkung. Sie ist insofern der wesentliche Teil der Rückwirkung, als sie am meisten den Ablauf der Bewegung an dem Verkopplungspunkt verändert. Sie ist proportional der dynamischen Korrektur, ist also in dem Resonanzfall am stärksten. Liegt die Schwingungszahl eines Registriersystems, wie es z. B. meist bei dem Quecksilbermanometer der Fall ist, unterhalb des Resonanzpunktes, so kommt das Instrument für die Registrierung des Kurvenverlaufs überhaupt nicht in Betracht. Der Rest der Rückwirkung ist die statistische Rückwirkung, d. h. diejenige, die eintritt, wenn in dem Registriersystem weder Trägheitskräfte noch Reibungskräfte in merkbarer Größe auftreten. Man kann an ihr unter Unständen wieder einen konstanten Teil und einen veränderlichen Teil, der aus dem periodisch veränderlichen Ausschlag des Registriersystems resultiert, unterscheiden. Der erste Teil hat kaum eine Bedeutung bei den kraftregistrierenden Instrumenten. Dagegen ist der letztere wesentlich. Er wird gleich 0, wenn die Bedingung der Isometrie erfüllt ist (s. oben S. 32). Dagegen spielt bei der Rückwirkung der

bewegungsregistrierenden Systeme der konstante Teil eine wesentliche Rolle (s. unten S. 43).

Aus diesen Entwicklungen geht klar hervor, daß, abgesehen von der Reibungskonstante auch die Rückwirkung ebensowenig wie die Korrektur allein von dem Elastizitätskoeffizienten abhängt, d. h. der Fick-Hürthlesche Satz, daß dasjenige Manometer das beste ist, das für die Einstellung auf einen gewissen Druck die geringste Flüssigkeitsverschiebung nötig hat, reicht auch für die Beurteilung der Rückwirkung nicht aus.

Das zeigt besonders der unter der Resonanz liegende Fall, nämlich derjenige, bei dem die Schwingungsdauer sehr groß ist, so z. B. bei einem Hg-Manometer von sehr großer Länge der Säule. Die tatsächlich eintretenden Exkursionen des Manometers sind verschwindend klein, das Quecksilber bleibt fast still stehen, es wirkt wie eine starre Wand. Die Rückwirkung ist klein, trotzdem das Hg-Manometer für eine bestimmte Druckeinstellung eine sehr große Flüssigkeitsverschiebung nötig hat.

c) Die einzelnen kraftregistrierenden Instrumente.

Zu ihnen gehören der Muskelspannungsmesser, die verschiedenen elastischen Manometer, das Hg-Manometer, der Sphygmograph. Weiter der Transmissionssphygmograph und das Transmissionsmanometer von Marey, Chauveau und Fredericq. Die letzteren bestehen aus einer Vereinigung eines kraftregistrierenden Instrumentes mit einem bewegungsregistrierenden. Ihre Behandlung ist bis jetzt noch nicht zureichend durchgeführt, wenn auch in der „Dynamik" eingeleitet.

F. Allgemeine Dynamik der bewegungsregistrierenden Instrumente.

a) Korrektur.

Die Grundgleichung lautet:

$$B \cdot E_K - f_r \cdot E_r = \frac{f_r}{\gamma} + M \frac{d^2 f_r}{d t^2} + K \frac{d f_r}{d t} \quad \ldots\ldots (19)$$

Daraus folgt:

$$\frac{B \cdot E_K}{E_r + \frac{1}{\gamma}} = f_r + \frac{M}{E_r + \frac{1}{\gamma}} \cdot \frac{d^2 f_r}{d t^2} + \frac{K}{E_r + \frac{1}{\gamma}} \cdot \frac{d f_r}{d t} \quad \ldots\ldots (20)$$

Eigenschwingungen führt das System aus, wenn an der Koppelstelle keine Bewegung stattfindet, B also 0 wird. Das System führt also Eigenschwingungen unter wesentlich anderen Bedingungen aus, als wenn es zur Bestimmung der Kraftkorrektur benutzt wird. Für die Dauer der Eigenschwingungen und die Größe der Dämpfung ergeben sich analoge Beziehungen wie bei dem kraftregistrierenden Instrument.

$$\mu = \frac{T^2}{4 \pi^2} = \frac{M}{E_r + \frac{1}{\gamma}}; \quad \varkappa = \frac{D T}{\pi^2} = \frac{K}{E_r + \frac{1}{\gamma}} \quad \ldots\ldots (21)$$

Wir erhalten dann die Schlußgleichung:

$$f_{corr} = f_r + \underbrace{\mu \frac{d^2 f_r}{d t^2} + \varkappa \frac{d f_r}{d t}}_{\text{Dynam. Korrektur}} \quad \ldots \ldots \ldots (22)$$

Für sie gilt dasselbe wie für die Schlußgleichung der kraftregistrierenden Instrumente. (S. F. 11.)

b) Rückwirkung.

Die Rückwirkung leitet sich aus folgender Gleichung ab: (S. F. 6).

$$\Pi = \frac{f_r + \text{dyn. Korr.}}{\beta} \cdot E_K - f_r \cdot E_r \quad \ldots \ldots \ldots (23)$$

Daraus folgt:

$$\Pi = \frac{f_{corr}}{\gamma} + \left[\text{dyn. Korr.} \left(\frac{E_K}{\beta} - \frac{1}{\gamma}\right)\right] \quad \ldots \ldots \ldots (24)$$

oder auch

$$\Pi = \frac{f_{corr}}{\gamma} + [\text{dyn. Korr. } E_r] \quad \ldots \ldots \ldots (25)$$

oder

$$\Pi = \frac{f_r}{\gamma} + \frac{\text{dyn. Korr.}}{\beta} \cdot E_K \quad \ldots \ldots \ldots (26)$$

Der Ausdruck in den eckigen Klammern ist die dynamische Rückwirkung (s. oben). Für die Bestimmung der Rückwirkung usw. gilt dasselbe, was über die Rückwirkung der kraftregistrierenden Instrumente gesagt worden ist.

c) Die einzelnen bewegungsregistrierenden Systeme.

1. Volum-Lufttransmission. Sie findet Anwendung z. B. bei der Kardiographie, wenn als Geberkapsel ein Trichter benutzt wird, der auf die Brustwand aufgesetzt wird.

2. Die lineare Lufttransmission. Sie bildet einen Teil des Transmissionssphygmographen und kann auch für sich zur Registrierung von linearen Bewegungen verwendet werden.

3. Die Volumtransmission mit inkompressibler Flüssigkeit. Sie wird manchmal bei der Plethysmographie angewandt. Als Registrierkapsel kann ein Pistonrekorder oder eine Mareysche Kapsel dienen.

4. Die einfache Fadentransmission. Sie wird angewendet in der Form der Suspensionsmethode, bei der ein Hebel durch einen unausdehnbaren Faden mit dem beobachteten System, dem Muskel oder dem Herzen, verbunden ist.

Die Fälle 1 und 2 lassen sich einfach nach den allgemeinen Gleichungen behandeln. Die Fälle 3 und 4 erfordern eine besondere Beachtung. Die Systeme führen nämlich keine Eigenschwingungen bei unverrücktem Anfangspunkt aus, weil durch die inkompressible Flüssigkeit oder durch den unausdehnbaren Faden die Entfernung zwischen dem Anfangs- oder Verkoppelungspunkt einerseits und dem Registrierpunkt andererseits unveränderlich bleibt, also der Elastizitätskoeffizient $E_K = \infty$ wird.

Die in dem beobachteten System, z. B. in der Herzwand oder den Gefäßwänden (vgl. auch die Theorie des Sphygmographen) usw. vorhandenen Elastizitätsfaktoren können unter Umständen Schwingungen hervorrufen. Sie lassen sich in die Analyse des Registriersystems selbstverständlich nicht einbeziehen, werden dagegen bei der Bemessung des Einflusses der Rückwirkung zu berücksichtigen sein.

Die Schwingungszeit wird dann gleich 0, die dynamische Korrektur wird zu 0, d. h. die Bewegungen werden von diesen Systemen unter den bezeichneten Voraussetzungen vollständig getreu aufgeschrieben. Für die dynamische Rückwirkung wird der Ausdruck der Gleichung unbestimmt. Sieht man von der Dämpfung ab, so läßt sich die dynamische Rückwirkung als das Produkt aus der Größe M und der Beschleunigung $d^2 B_K/dt^2$ bestimmen. $d^2 B_K/dt^2$ ist die Beschleunigung der Koppelstelle und annähernd $= \frac{d^2 f_r}{dt^2} \cdot \frac{1}{\beta_r} \cdot$ Die Größe M, d. h. diejenige Größe, die mit der Beschleunigung der Koppelstelle multipliziert die dynamische Rückwirkung gibt, kann bei den einfachen Systemen entweder rechnerisch leicht ermittelt werden oder durch Versuche, indem man das System durch Zufügung eines geeigneten elastischen Faktors in Schwingungen versetzt. Im letzteren Fall kann auch die Dämpfung bestimmt werden. Das System des Pistonrekorders mit inkompressibler Flüssigkeitstransmission kann z. B. leicht in Schwingungen versetzt werden, wenn man es in eine U-förmige Gestalt, wie ein Wasser- oder Hg-Manometer, bringt usw.

Ferner ist zu beachten, daß in den Fällen 3 und 4 die gegenseitige Unverrückbarkeit der beiden Punkte, des Koppelpunktes und des Registrierpunktes, durch die Eigenschaften des Übertragungsmittels nur in einem Sinn gewährleistet werden. Der Faden ist unausdehnbar. Die Entfernung zwischen seinen beiden Endpunkten kann, wenn er gespannt ist, nicht vergrößert werden, aber der Faden kann zusammenfallen. Die Flüssigkeit ist zwar inkompressibel, aber sie kann auseinander gerissen werden. Es muß also, wenn die Entfernung zwischen den beiden Endpunkten eines derartigen einseitig starren Systems unveränderlich gehalten werden soll, der Faden in jedem Moment der Bewegung gespannt und die Flüssigkeit durch einen Druck zusammengedrückt werden. Die Spannung des Fadens kann durch ein Gewicht oder eine Feder, das Andrücken der Flüssigkeit durch den hydrostatischen Druck oder die Spannung einer Membran bewirkt werden. Ob die Spannung des Fadens besser durch ein Gewicht oder durch eine Feder erfolgt, ist für die einzelnen Fälle zu untersuchen. Unter Umständen dürfte die Feder vorzuziehen sein, und zwar nicht allein, weil ihre Massenwirkung geringer als diejenige des Gewichtes zu halten ist, sondern weil ihre Kraft sich besser der Bewegung anpaßt, so daß die Rückwirkung kleiner als bei der Verwendung der konstanten Schwerkraft ist.

Eine eigentümliche Stellung nimmt der Luftdruck ein. Wenn z. B. ein Teil des Gefäßsystems in einem mit Wasser gefüllten Plethysmographen eingeschlossen ist, sei es eine Extremität, ein Organ oder das Herz, und die Volumenaufzeichnungen werden durch einen Pistonrekorder vorgenommen, so ist diejenige Kraft, die das Registriersystem: Flüssigkeit + Rekorder mit dem Körperteil verkoppelt, der Luftdruck, wenn man nicht noch

den hydrostatischen Druck der Flüssigkeit unnötigerweise dazu verwendet. Das Registriersystem folgt den Bewegungen, auch wenn der Punkt, wo die Flüssigkeit an das Organ angrenzt, nicht unter dem Endniveau der Flüssigkeit steht. Es ist dann der Luftdruck allein, der die Flüssigkeit zusammenhält und an die Oberfläche des Organs anpreßt. Diese überraschende Statuierung wird sofort einleuchten, wenn man sich überlegt, was dann geschieht, wenn der Luftdruck aufgehoben wird. Dann wird sich die Flüssigkeit bei den Bewegungen des Organs von der Oberfläche ablösen und den Bewegungen nicht mehr folgen. Im übrigen folgt das registrierende System den Bewegungen so lange getreu, wie der Luftdruck die Trägheitskräfte und die Reibungskräfte überwiegt. Diese verkoppelnde Kraft hat die Eigentümlichkeit, daß sie überhaupt keine Rückwirkung ausübt; denn sie wirkt auf das ganze geschlossene Gefäßsystem ein. Und der Kreislauf ist, rein mechanisch genommen, unabhängig von dem Luftdruck. In diesem Fall hat es natürlich keinen Sinn, eine Federkraft, also etwa die Spannung einer Membran, anzuwenden, wenn nicht etwa hierdurch technische Konstruktionsschwierigkeiten vermieden werden.

Stets muß aber der Zug oder Druck, der durch diese verkoppelnden Kräfte erzeugt wird, größer sein als die dynamische Rückwirkung, also als der Ausdruck [dyn. Korr. E_r], d. h. die gesamte Rückwirkung darf nicht negativ werden. Sonst tritt das oben geschilderte Phänomen des Zusammenfallens des Fadens oder des Auseinanderreißens der Flüssigkeit ein. Hieraus sieht man wiederum, daß die dynamische Rückwirkung maßgebend für die ganze Konstruktion dieser Registriersysteme ist. Diese Sätze, so einfach und einleuchtend sie klingen, sind doch in ihrer Bedeutung früher nicht genügend gewürdigt worden. So hat Donders bei der Schaffung seiner Prüfungsmethode für den Sphygmographen nicht an sie gedacht, ebenso wenig wie Hürthle bei der Anwendung dieses Verfahrens. Solche Prüfungsmethoden haben nur dann einen Wert, wenn sie alle wesentlichen Momente berücksichtigen, wie dies von Petter bei der Ausbildung seines Prüfungsverfahrens für die Leistungen des Sphygmographen geschehen ist.

G. Berechnung der wesentlichen Konstanten eines Registriersystems aus den Konstanten seiner einzelnen Teile.

Zur Schätzung der Korrekturen und der Rückwirkung eines Instrumentes, weit mehr aber zur Auffindung von Verbesserungsmöglichkeiten für die Instrumenttypen, ist es wichtig, aus den Konstanten der einzelnen Teile des Systems, die zur Charakteristik der Instrumente notwendigen Konstanten des ganzen Systems zu berechnen.

Die statischen Konstanten γ, β, E_k und E_r lassen sich meist unschwer berechnen. Ich gebe hier nur die Regel für die Berechnung der elastischen Koeffizienten eines zusammengesetzten Systems aus den Koeffizienten der einzelnen Teile. Die Regel lautet: Sind die elastischen Körper parallel geschaltet, d. h. sind ihre Enden festgehalten und greift die Kraft an den miteinander verbundenen deformierten Enden an, so addieren sich die elastischen Koeffizienten zu dem Gesamtkoeffizienten. Sind sie dagegen hintereinander geschaltet, d. h. greift die Kraft an dem einen Ende des

einen elastischen Körpers an, dessen anderes Ende auf das Ende des nächsten elastischen wirkt usw., so addieren sich die reziproken Werte der einzelnen Koeffizienten zu dem reziproken Wert des Koeffizienten des ganzen Systems.

Die Berechnung der Schwingungsdauer T des gesamten Systems läßt sich nach zwei Methoden durchführen, die beide dasselbe Resultat ergeben. Sie sind mir bei der Berechnung der komplizierten Manometer- und Lufttransmissionssysteme unentbehrlich gewesen.

Die eine Berechnung beruht darauf, daß man das Quadrat der Schwingungsdauer des Gesamtsystems als die Summe der Quadrate der einzelnen Elemente erhält.

$$T_{tot}^2 = \Sigma(T_1^2, T_2^2, T_m^2) \quad \quad (27)$$

Die Methode ist eingehend begründet in der Einleitung der „Dynamik". Sind die Elastizitätskoeffizienten der einzelnen Elemente, wie z. B. bei einer Luftsäule oder einer in eine elastische Röhre eingeschlossenen Flüssigkeit oder einer Spiralfeder usw., stetig mit der Länge des Systems veränderlich, so wird die Summe zu einem Integral (s. „Dynamik" S. 328).

Das gleiche Resultat ergibt sich, wenn man einen einheitlichen Elastizitätskoeffizienten an irgendeiner Stelle des Systems, am bequemsten wohl an der Endstelle $= E_e$ der Berechnung zugrunde legt und die Massen unter Berücksichtigung ihrer gegenüber dem ins Auge gefaßten Punkt, dem Endpunkt, variablen Verschiebung summiert. Bezeichnet man die Verschiebung an einer beliebigen mittleren Stelle des Systems mit B_m und ist sie gleich $c_m B_e$, so wird die Gesamtmasse zu $\Sigma(c_m \cdot M_m)$ und die Schwingungsdauer zu

$$2\pi \sqrt{\frac{\Sigma(c_m \cdot M_m)}{E_e}} \quad \quad (28)$$

Die letztere Methode ist besonders in der „Kritik" S. 522 ff., 538 ff., 548 ff. angewandt worden. Beide Methoden beruhen auf derselben Annahme, daß die relative Bewegung der einzelnen Elemente des Systems bei den Schwingungen ebenso erfolgt wie bei statischen, d. h. unendlich langsamen Verrückungen, oder daß die Bewegung nur in einem Sinn und zu gleicher Zeit erfolgt wie etwa bei einer stehenden Schwingung. Diese Voraussetzung ist, wie die Experimente gezeigt haben, bei den für die Registrierung gebrauchten Systemen genügend erfüllt. Die Summierung erfolgt auf Grund des d'Alembertschen Prinzips, nach dem die Bewegungen von Massensystemen berechnet werden. (S. „Kritik".) Die Einwände, die gegen ein derartiges summarisches Verfahren für die Analyse von Flüssigkeits- und Luftbewegungen gemacht werden können, treffen im Prinzip auch alle Anwendungen des d'Alembertschen Prinzips, so auf die Bewegungen von festen Körpern; denn starre Körper gibt es in der Natur nicht.

H. Leistungen der Instrumente

Man fühlt das Bedürfnis, die Leistungen der Instrumente, die auf ihren wesentlichen Konstanten beruhen, in einen Ausdruck zusammenzufassen. Man wird bei der Bildung dieses Ausdrucks von der Dämpfung absehen



können, da sie durch einfache Mittel fast immer leicht auf das zweckmäßige Maß gebracht werden kann. Nur bei der Bewegung der Hebel selbst macht dies gewisse Schwierigkeiten. Hier stört die unregelmäßige Reibung, die an der Achse und besonders an den Teilen auftritt, welche die Übersetzung der gradlinigen Bewegung in die drehende des Hebels bewerkstelligen. Sie läßt sich aber durch geeignete Maßnahmen aufbeben. (S. Prank und Petter, Ein neuer Sphygmograph, und Petter, Die Leistungen des Sphygmographen.) Die Bewegung von Flüssigkeiten erfolgt im allgemeinen mit regelmäßiger Reibung, die beliebig gestaltet werden kann.

Danach bleibt nur noch übrig, die statischen Konstanten, d. h. die Empfindlichkeiten und die Massenwirkung, bemessen nach der Schwingungsdauer, in einen Ausdruck zu vereinigen. Wenn man von der im allgemeinen zutreffenden Voraussetzung ausgeht, daß eine Verringerung der Schwingungsdauer nur auf Kosten der Empfindlichkeit erfolgen kann, so wird man als Güte des Instruments sinngemäß den Ausdruck

$$G = N^2 \cdot \varepsilon \quad \text{. . . . . (29)}$$

zu wählen haben.

Der Ausdruck hat sich sehr bewährt für die Beurteilung der Leistungen der kraftregistrierenden Instrumente. Die Güte dieser Instrumente, der Spannungsschreiber, der Manometer und der Sphygmographen, ist also gleich dem Produkt aus der Empfindlichkeit und dem Quadrat der Schwingungszahl

$$= N^2 \cdot \gamma_r \quad \text{. . . . . (30)}$$

Mit diesem Ausdruck ist auch die Rückwirkung dieser Instrumente im wesentlichen charakterisiert, da, wie die vorhergehenden Entwicklungen zeigen, die dynamische Rückwirkung abgesehen von diesem Ausdruck nur noch von der Konstante E_K abhängt.

Für die Beurteilung der Leistungen der bewegungsregistrierenden Instrumente wird man die Rückwirkung in den Vordergrund stellen, da bei einigen eine dynamische Korrektur überhaupt nicht notwendig ist. Man wird sinngemäß den Ausdruck

$$G = \frac{\beta_r}{M} \quad \text{. . . . . (31)}$$

als die Güte des Instruments für die Rückwirkung bezeichnen. Seiner Bildung liegt wiederum die Voraussetzung zugrunde, daß die Erhöhung der Empfindlichkeit mit einer Vergrößerung der Massenwirkung verbunden ist. Man braucht sich nur die Verhältnisse bei dem einfachsten bewegungsregistrierenden Instrument, dem Muskellängenschreiber, vorzustellen, um diese Voraussetzung begründet zu finden.

Als Güte des bewegungsregistrierenden Instrumentes bezeichne ich also den Quotienten aus der Empfindlichkeit des Instrumentes, dividiert durch die Maße des Systems, d. h. diejenige Größe, die, mit der Beschleunigung der Verkoppelungsstelle multipliziert, die dynamische Rückwirkung ergibt. (S. oben Seite 42.)

Die Mittel zu einer Erhöhung der Güte der Instrumente werden in Abschnitt I dieses Kapitels sowie bei den speziellen Beschreibungen der einzelnen Systeme besprochen. Hier ist nur der allgemeine Satz aufzustellen, daß jede dem eigentlichen Zweck des Instrumentes nicht dienende Einschaltung sowohl von Massen, aber auch von Elastizitätsfaktoren die Güte des Instrumentes herabsetzt. So wirkt beispielsweise die elastische Ausbuchtung der Membran neben der Platte bei den Membraninstrumenten ungünstig und drückt ihre Güte unter diejenige der Kolbeninstrumente herab.

Die Fähigkeit eines Instrumentes, rasche Bewegungen treu aufzuzeichnen, hängt vor allem von der Dauer seiner Eigenschwingungen ab. Von ihr hängt also ab die Möglichkeit, alle Einzelheiten eines Bewegungsablaufs darzustellen. Ich habe diese Eigenschaft mit dem Auflösungsvermögen der mikroskopischen und teleskopischen Objektive verglichen. (S. „Der Puls in den Arterien".)

Andere Kriterien für die Leistungen der Instrumente als die von der Theorie gegebenen stehen diesen an Sicherheit weit zurück. Experimentelle Prüfungsverfahren wie die von Buisson, Porter und O. Frank gebildeten erscheinen jetzt bedeutungslos oder irreführend.

Zu untersuchen, wie bekannte Einwirkungen von dem Instrument wiedergegeben werden, ist nur selten möglich, da man genau bekannte Bewegungen oder Kraftänderungen kaum sicher herzustellen vermag. Außerdem muß man bestimmt wissen, daß diese künstlich hergestellten Bewegungen den zu untersuchenden in wesentlichen Punkten gleich sind. Daß, wenn hier einmal eine gewisse Sicherheit gewonnen ist, ein streng auf der Grundlage gebildetes Prüfungsverfahren sehr anschaulich die Leistungen der Instrumente darstellen kann, ist von J. Petter durch die weitere Ausbildung des Dondersschen Prüfungsverfahrens gezeigt worden. Noch unsicherer ist es, die Leistungen eines Instrumentes durch Vergleich mit den Aufschreibungen eines anderen, dem man dem Gefühl nach Vertrauen schenkt, beurteilen zu wollen. Auch die Bestimmung der Zeit, die ein Instrument braucht, um eine bestimmte Bewegung oder Kraftänderung zu registrieren, die Einstellungszeit, ermöglicht ohne genauere Ausbildung des Verfahrens keinen Schluß auf die Leistung des Instrumentes. Sie ist zum mindesten seit der Ausbildung der Theorie überflüssig geworden.

Bei einer Reihe von Instrumenten werden Hebel- und Volumübersetzungen gleichzeitig angewandt. Es ist dann die Aufgabe, zu entscheiden, ob durch die eine oder andere Übersetzung die Güte der Instrumente beeinflußt wird, bzw. was dasselbe ist, ob bei gleich erreichter Empfindlichkeit die Schwingungsdauer von dem Übersetzungsmodus abhängt. Daß dies für die Hebelmanometer dann, wenn der Durchmesser der Manometerkapsel rationell bemessen wird, nicht der Fall ist, ist in der „Dynamik" im Anschluß an die Erörterungen in der „Theorie des Kolbenmanometers" gezeigt worden (s. hierüber dieses Handbuch „Hämodynamik" Kap. 4 B).

I. Verbesserung der Instrumente.

Wenn ein für einen bestimmten Zweck ausreichendes Instrument gebildet werden soll, müssen durch das Experiment die Anforderungen an die

Leistungen des Instruments festgestellt werden. Der Weg, der hier allein zum Ziele führt, ist in der Abhandlung „Der Puls in den Arterien“ gezeigt worden. Man registriert mit einem Instrument, das man aus allgemeinen Gründen, insbesondere technischer Natur, für geeignet hält, den festzustellenden Vorgang, also etwa die Druckschwankungen im Gefäßsystem. Dann stellt man die dynamischen Korrekturen und die Rückwirkung nach den in den vorhergehenden Kapiteln entwickelten Regeln fest. In den meisten Fällen wird das Instrument den Anforderungen nicht genügen, d. h. die Korrekturen und die Rückwirkung werden zu groß ausfallen. Dann hat man das Instrument entweder dadurch den Anforderungen anzupassen, daß man die Empfindlichkeit herabsetzt, soweit dies noch möglich ist. Oder besser dadurch, daß man die Güte erhöht durch möglichste Verringerung der Massenwirkung. Mit diesem neuen Instrument registriert man wiederum eine Kurve und bestimmt Korrekturen und Rückwirkung. Man fährt so lang fort, bis die Korrektur und die Rückwirkung auf das notwendige Minimum herabgedrückt ist. Würde man einen beliebigen Spielraum für die Verbesserungen haben, so könnte man allein aus dem Umstand, daß von einer gewissen Güte ab die Kurven bei weiterer Verbesserung sich nicht mehr verändern, auf die genügende Leistungsfähigkeit des Instrumentes schließen. In den meisten Fällen steht aber ein derartiger Spielraum nicht zur Verfügung, und man muß zufrieden sein, daß das beste konstruierbare Instrument eben gerade die Anforderungen erfüllt, d. h. daß bei ihm die Korrektur und die Rückwirkung genügend klein sind. Auf der andern Seite hat aber auch die Erfahrung gelehrt, daß es stets möglich ist, wenigstens wenn man die optische Registrierung zu Hilfe nimmt, Apparate zu bilden, die den Anforderungen der hämodynamischen Registrierung genügen.

Die rückwirkende Bewegung der kraftregistrierenden Instrumente, die an der Verkopplungsstelle eintritt, muß gegenüber an dieser Stelle vorhandenen Bewegungen verschwinden. Die rückwirkende Kraft der bewegungsregistrierenden Instrumente muß gegenüber den an der Verkopplungsstelle wirkenden Kräften zurücktreten. Danach ist die Rückwirkung desselben Instrumentes verschieden je nach der Stelle, an die es angelegt wird. Um den Einfluß der Rückwirkung zu untersuchen, wird man sie unter Umständen verstärken etwa durch Vergrößerung der Maße bei den bewegungsregistrierenden Instrumenten usw. Durch die Theorie ist man jetzt genau über die Bedeutung dieser Momente unterrichtet.

Wie schon bemerkt worden ist, kann man die Dämpfung meist ohne Schwierigkeiten auf den passenden Grad bringen. Petter hat auf eine interessante Folgerung aus dem Integral der Differentialgleichung der Mitschwingungen aufmerksam gemacht. Ist die Dämpfung so groß, daß gerade der aperiodische Zustand erreicht wird, so tritt, wenn die Schwingungsdauer des Registrierapparates T beträgt, für alle Schwingungen, die wesentlich länger als T sind, eine Phasenverzögerung von T/π ein, für eine Schwingungszahl von 180, wie sie bei den besten optischen Manometern erreicht wird, also ungefähr von 1/600 Sekunde. Die Amplitude einer derartigen vergleichsweise langsamen Schwingung wird von dem Instrument richtig aufgeschrieben. Ist die Schwingungsdauer, die aufgeschrieben werden soll. ebenso lang wie die Eigenschwingung des Instrumentes, so beträgt die Ver-

zögerung etwas weniger, nämlich T/4, die Amplitude der aufgeschriebenen Schwingung aber nur noch die Hälfte der einwirkenden Schwingung. Danach wird man diesen Dämpfungsgrad mit Vorteil besonders dann anwenden, wenn die Teilschwingungen, wenigstens des Hauptzugs der Kurve, eine längere Schwingungsdauer besitzen als die Eigenschwingung des Registrierapparates.

K. Die praktische Verwertung der Theorie.

Die ganze von mir entwickelte Theorie ist wesentlich nur für einen praktischen Zweck geschaffen, nämlich einen zureichenden Aufschluß über die mechanischen Vorgänge, die Bewegungen und die Kraftveränderungen, durch die Registrierungen zu erhalten. Insofern ist kein Teil der vorhergehenden Erörterungen praktisch bedeutungslos. Ich hebe aber hier nochmals diejenigen Momente hervor, die für denjenigen von Bedeutung sind, der Registrierinstrumente praktisch anwendet.

Für den Experimentator gilt es, einen angenäherten Aufschluß über die Größe der dynamischen Korrektur und der dynamischen Rückwirkung zu bekommen. Hierzu müssen die Konstanten der Empfindlichkeit (ev. auch der Größe E_K) und der Schwingungsdauer T (ev. auch das Dekrement D) experimentell bestimmt werden. Die Methoden zur Bestimmung dieser Größen sind zum Teil schon in meinen früheren Abhandlungen angegeben worden. Dann müssen die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen des Anstiegs bzw. Abfalls der registrierten Kurven durch Messung ermittelt werden. Hierzu dienen geeignete Meßapparate, die im wesentlichen darauf beruhen, daß die Ordinatenhöhen für bestimmte Abszissenabstände und der Winkel des Anstiegs der Kurven an diesen Punkten mit ihnen leicht festgestellt werden können. Die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen können aus diesen Meßresultaten einfach abgeleitet werden. In dem „Arterienpuls" ist ein einfaches Rechnungsverfahren hierfür angegeben. Diese Größen werden dann nach Maßgabe der Gleichungen mit den entsprechenden Konstanten multipliziert. Unter Umständen genügt es vollständig, die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen nur für ausgezeichnete, leicht erkennbare Punkte, an denen sie besonders hohe Beträge erreichen, zu bestimmen.

Zur Ermittlung des Dekrements ist folgendes zu beachten: Man nennt die Schwingungsweite oder auch den Schwingungsbogen die Entfernung zweier aufeinander folgender Umkehrpunkte. Das Verhältnis einer Schwingungsweite zu der folgenden heißt Dämpfungsverhältnis. Und der natürliche Logarithmus dieses Verhältnisses ist das logarithmische Dekrement. Wenn W_m die Größe der mten Schwingungsweite und W_n die der nten Schwingungsweite ist, so gilt folgende Beziehung:

$$D = \frac{\ln W_m - \ln W_n}{n - m}.$$

Hierbei ist zu bemerken, daß die verschiedenen Verfahren, die in den Gleichungen niedergelegt sind, zu denselben Werten führen, d. h. wenn man ein kraftregistrierendes Instrument nach dem für die bewegungsregistrierenden Instrumente entwickelten Prinzip behandelt, und die jetzt andere Schwingungs-

dauer nach diesem Prinzip bestimmt, so erhält man die Rückwirkung nach der Gleichung 22, aus der die Korrektur für ein bewegungsregistrierendes Instrument bestimmt wird, und umgekehrt. Oder anders ausgedrückt, man kann die Rückwirkung eines kraftregistrierenden Instrumentes sowohl nach den Gleichungen 16, 17, 18 oder 22 bestimmen. Es fragt sich nur, ob die experimentelle Bestimmung der Konstanten E_K oder der anderen Schwingungsdauer einfacher ist. Im allgemeinen wird man wegen der Einfachheit der Berechnung das erstere Verfahren vorziehen.

Viel öfter wird es sich aber für den Experimentator darum handeln, die wesentlichen Größen, die Empfindlichkeit und die Schwingungsdauer schätzungsweise zu berechnen. Wird einmal die Theorie in ihrem vollen Umfang auf alle Registrierungen angewandt sein, ein Zeitpunkt, der nicht mehr fern ist, dann hat man die Anforderungen an die Instrumente kennen gelernt. Es wird dann festgestellt sein, ob in einem bestimmten Fall eine bestimmte Schwingungszahl für die genügend richtige Registrierung zureicht. Ebenso wird für die bestimmten Fälle die Empfindlichkeit normiert sein. Der Experimentator wird sich dann rasch zu unterrichten haben, ob ein vorliegendes Instrument diese Bedingung erfüllt. Hierzu dient am besten eine schätzungsweise Berechnung dieser Größen. Sie kann in allen Fällen auf Grund der für die einzelnen Instrumente mitgeteilten Berechnungen leicht durchgeführt werden. Außerordentlich erleichtert werden diese Berechnungen, wenn man das absolute Maßsystem, wie dies durchgehend in meinen Arbeiten geschehen ist, anwendet.

Über eine Größe kann allerdings die Berechnung keinen Aufschluß geben, das ist die Dämpfung. Sie muß im Notfall experimentell ermittelt werden, wie vorher angegeben wurde.

L. Geschichte der Theorie.

Mit ein paar Worten will ich die Vorgeschichte meiner theoretischen Entwicklungen skizzieren. Die erste Anwendung der theoretischen Physik auf die Analyse graphischer Methoden rührt wohl von Redtenbacher her, der nach einer Darstellung in der Vierordtschen Monographie „Die Lehre vom Arterienpuls“ S. 12 die Theorie der Mitschwingungen zur Bestimmung der Leistungen des Quecksilbermanometers verwendete[1]). Er stellte eine Differenzialgleichung für die Bewegungen des Quecksilbermanometers auf, die im Prinzip bei allen späteren Untersuchungen beibehalten worden ist. Nicht berücksichtigt war von Redtenbacher die theoretisch weniger bedeutungsvolle Dämpfung. Eingehender beschäftigte sich mit der Theorie der Instrumente E. Mach, der in seinen Abhandlungen der Jahre 1862 und 1863 die eigentliche Grundlage für eine rechnerische Behandlung der Leistungen der Instrumente geliefert hat. Ich sehe das Hauptverdienst von Mach hauptsächlich in der Konstatierung, daß die Differentialgleichung für die Bewegungen eines Registriersystems — er behandelt vorzugsweise den Sphygmographen — dazu benutzt werden kann, um die registrierten Kurven

1) Welche Rolle Seebeck bei der Entstehung dieser Theorie gespielt hat, wäre mir ohne eingehende Studien, die ich nicht durchführen kann, nicht möglich festzustellen. S. im übrigen den Teil Hämodynamik.

zu korrigieren, während Redtenbacher und bis auf die Neuzeit alle späteren Autoren das Integral der Differentialgleichung herangezogen haben, dessen Diskussion im allgemeinen viel schwieriger ist. Von Mach sind die allgemeinen Grundzüge der Theorie entworfen worden. Zu speziellen eingehenden Prüfungen einzelner Instrumente hat er sie nicht benutzt.

Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind in den nächsten Jahren fast vollständig vergessen worden. Niemand hat sein Korrekturverfahren angewendet. Nur vereinzelt ist auf sie zurückgegriffen worden. So von v. Kries bei der Aufstellung einer Gleichung für die Bewegungen des Quecksilbermanometers, die mit der Redtenbacherschen identisch ist, und v. Frey bei seiner Diskussion der Leistung des Tonographen. Von den Autoren, die wesentlich empirisch bei der Konstruktion von Registrierinstrumenten verfahren sind, wie Landois, Hürthle u. a., sind stets nur einige und nicht immer die wesentlichen Momente berücksichtigt worden. Wegen der naturgemäßen Unvollständigkeit dieser empirischen Konstruktionsversuche sind Kriterien für die Leistungen der Instrumente aufgestellt worden, die als unzureichend, ja als falsch bezeichnet werden müssen. Selbst Fick, in dessen Abhandlungen sich viele wertvolle Gesichtspunkte finden, ist nicht konsequent vorgegangen und hat im Laufe seiner Bestrebungen, die Instrumente zu verbessern, wieder manches fallen gelassen, was er vorher als richtig erkannt hatte und was sich später auch als richtig herausgestellt hat.

Kap. 6 ist mit Ausnahme der Einleitung und des Schlusses ein fast unveränderter Abdruck meiner Abhandlung „Prinzipien der graphischen Registrierung".

Donders 1868. Zur Physiologie des N. vagus. Pflügers Arch. I, S. 332.
Frank, O. 1903. Kritik der elastischen Manometer. Zeitschr. für Biologie 45, S. 447.
Prinzipien der graphischen Registrierung. Zeitschr. für Biologie 53, S. 429. 1910.
— Dynamik der Membranmanometer etc. Zeitschr. für Biologie 50, S. 309.
— Der Puls in den Arterien. Zeitschr. für Biologie 46, S. 441.
v. Frey 1893. Die Ermittlung absoluter Werte für die Leistung von Pulsschreibern. Du Bois-Reymonds Archiv.
Grashey 1882. Die Wellenbewegung in elastischen Röhren.
Hürthle ab 1888. Beiträge zur Hämodynamik, Pflügers Archiv XLIIIff.
v. Kries 1878. Über die Bestimmungen des Mitteldruckes durch das Quecksilbermanometer. Du Bois-Reymonds Archiv.
E. Mach 1862. Zur Theorie der Pulswellenzeichner. Wiener Sitzungsber. 46, 2, S. 157.
E. Mach 1863. Über die Gesetze des Mitschwingens. Ebenda 47, 2, S. 33.
Redtenbacher 1854 in Vierordt: Die Lehre vom Arterienpuls in gesunden und kranken Zuständen. Braunschweig 1855. S. 12.
Seebeck, Ann. d. Physik LXII, S. 289.

II.

Versuche an überlebenden Organen der warmblütigen Tiere.

Von

Robert Tigerstedt in Helsingfors.

Mit 17 Abbildungen im Text.

Einleitung[1]).

Um die Verrichtungen eines Organes an und für sich, unabhängig von den Einwirkungen seitens anderer Organe, festzustellen; um diejenigen Veränderungen, welche das Blut in einem bestimmten Organ erleidet, zu verfolgen; um das Verhalten der Gefäße in verschiedenen Organen unter verschiedenen Umständen kennen zu lernen: kurz, um die spezielle Physiologie eines gewissen Organes näher zu erforschen, ist es in vielerlei Hinsicht von großer Bedeutung, dieses Organ untersuchen zu können, wenn es vom übrigen Körper völlig isoliert ist.

Die Bedeutung dieser Versuchsweise ergibt sich ohne weiteres aus den wichtigen, unter ihrer Anwendung gewonnenen Resultaten, wie ja z. B. die allgemeine Physiologie der Nerven und der Muskeln sich zum allergrößten Teil auf Versuche an ausgeschnittenen Nerven und Muskeln gründet.

Bei den kaltblütigen Tieren können die Organe mehr oder minder lange nach dem Aufhören des Kreislaufes leistungsfähig bleiben, und wir brauchen daher in zahlreichen Fällen keine besonderen Anordnungen zu ihrer künstlichen Ernährung zu treffen.

Bei den warmblütigen Tieren verhält sich die Sache ganz anders: die überaus große Abhängigkeit der Organe von der Blutzufuhr verbietet in der Regel jede nähere physiologische Untersuchung eines ausgeschnittenen Körperteiles, denn die Zeit, während welcher ein solcher noch einigermaßen leistungsfähig bleibt, zählt sich im allgemeinen nur nach Minuten, und sogar im Laufe dieser kurzen Zeit machen sich die erregbarkeitmindernden Veränderungen immer deutlicher geltend.

Indessen können auch unter solchen Umständen wichtige Erfahrungen gewonnen werden, wie z. B. Ludwigs Beobachtung (40), daß die Erregung

---

1) Zu meiner Verfügung standen einige kurze bibliographische Notizen aus dem Nachlaß des leider zu früh verschiedenen O. Langendorff, welcher ursprünglich die Bearbeitung dieses Abschnittes übernommen hatte.

der Speicheldrüsennerven auch nach Aufhören des Herzschlages eine Speichelabsonderung hervorruft, und Luchsingers (39) Nachweis davon, daß bei der Katze in den ersten 15 bis 20 Minuten nach der Amputation eines Beines bei Reizung des N. ischiadicus stets neue Schweißperlen im abgetrennten Körperteile zutage treten. Zu erwähnen ist auch, daß gewisse Organe der Warmblüter länger als andere nach Aufheben des Kreislaufes erregbar und leistungsfähig bleiben.

Ein Warmblüterorgan, das scheinbar ganz unerregbar ist, braucht indessen nicht gestorben zu sein: im Gegenteil befindet es sich gar nicht selten in einem eigentümlichen Zustande von Scheintod, wie daraus hervorgeht, daß dieses Organ durch Herstellen eines künstlichen Kreislaufes oder ganz einfach durch Einsenken in eine Flüssigkeit von geeigneter Zusammensetzung zu erneuerter Tätigkeit wiedererweckt werden kann.

Da die Methoden für die künstliche Ernährung des überlebenden Säugetierherzens von O. Frank im Zusammenhang mit den übrigen Methoden der Hämodynamik besprochen sind (s. dies Handbuch, Bd. II, Abt. 4, S. 144) und die an den Muskeln des Verdauungsrohres benutzten Methoden von Magnus dargestellt worden sind (s. dies Handbuch, Bd. II, Abt. 1, S. 139), werde ich hier nur über die übrigen, hierher gehörigen Versuchsweisen berichten.

Das Prinzip dieser Methoden ist sehr einfach: die künstliche Ernährung soll die Verhältnisse bei der normalen Zirkulation so viel wie möglich nachahmen. Durch die Gefäße des ausgeschnittenen Organes muß also eine Flüssigkeit, deren Zusammensetzung später etwas näher besprochen werden wird, in zweckmäßigem Rhythmus und bei zweckmäßigem, leicht zu regulierendem Druck getrieben werden; diese Flüssigkeit muß vor allem dem Organ Sauerstoff in genügender Menge zuführen; auch muß das Organ vor Abkühlung und Verdunstung in geeigneter Weise geschützt werden. In vielen Fällen ist es außerdem notwendig, das aus der Vene des Organs ausströmende Blut genau sammeln und messen zu können; in anderen Fällen endlich, wo es gilt, den Gaswechsel des ausgeschnittenen Organs zu untersuchen, muß noch die Nährflüssigkeit vor nicht beabsichtigter Berührung mit der umgebenden Luft geschützt werden.

Wo es sich um Organe mit dünner Wand handelt, wie z. B. beim Darm und Ureter usw., genügt es für viele Zwecke, das Organ in die Nährflüssigkeit zu legen, ohne irgendwelchen künstlichen Kreislauf zu etablieren. Hierbei muß aber jedenfalls für die nötige Zufuhr von Sauerstoff, für die geeignete Temperatur usw. gesorgt werden.

Bei den Untersuchungen an überlebenden Organen kommen natürlich noch die gewöhnlichen Vorrichtungen zur Registrierung etwa vorhandener Bewegungen und andere Methoden, durch welche die Vorgänge im Organe untersucht werden können, in Betracht. Diese bieten indessen nur wenig für die ausgeschnittenen Organe an sich Charakteristisches dar, weshalb ich mich hier allein auf die Frage nach der Bewahrung der Leistungsfähigkeit solcher Organe beschränken werde.

I. Die Nährflüssigkeit.

Als beste und einzige normale Nährflüssigkeit ist von vornherein das ungeronnene und unverdünnte Blut des Tieres, dem das Organ entnommen ist, zu bezeichnen. Auch wurden schon vor langer Zeit Versuche damit gemacht, indem man die Arterie und die Vene einer ausgeschnittenen Niere mit der A. carotis und der V. jugularis desselben oder eines anderen Individuums derselben Art verband (Loebell (38), Bidder (3)).

Diese Versuche blieben indessen lange ohne Erfolg, und man hatte sie schon als aussichtslos aufgegeben, als es in der letzten Zeit Ullmann (57), Carrel und Guthrie (10, 11, 21) gelang, eine wirkliche Nierentransplantation auszuführen und also nachzuweisen, daß die von ihrem normalen Orte entfernte Niere durch Speisung mit natürlichem Blut vollständig leistungsfähig erhalten werden kann.

Auch die Versuche mit gekreuzter Zirkulation zwischen zwei Tieren, wie sie von Fredericq (16) ausgeführt worden sind, gehören gewissermaßen hierher, wie überhaupt alle Versuche, wo ein Organ an demselben oder einem anderen Tiere transplantiert worden ist.

Die verpflanzten Organe stellen indessen, streng genommen, keine isolierten überlebenden Organe dar, und vor allem können sie nicht für viele der speziellen Aufgaben dienen, die man an der Hand der isolierten Organe lösen will.

Das ganz unveränderte, faserstoffhaltige, nicht geschlagene und in keiner anderen Weise seiner Gerinnungsfähigkeit beraubte Blut läßt sich, wegen der schnell eintretenden Gerinnung, leider nicht zur Speisung der vom Körper isolierten Organe benutzen und man ist daher gezwungen gewesen, in erster Linie geschlagenes Blut anzuwenden.

In vielen Fällen genügt aber die gesamte Blutmenge eines Tieres nicht zum längeren Unterhalten der künstlichen Zirkulation, und man ist daher oft gezwungen, für einen einzigen Versuch mehrere Tiere zu opfern, wenn man nur arteigenes Blut benutzen will. Da die Versuche hierdurch sehr kostspielig werden können, hat man entweder artfremdes Blut benutzt (das Blut der gewöhnlichen Schlachttiere) oder auch das arteigene Blut in geeigneter Weise verdünnt oder endlich statt Blut eine vollkommen künstliche Nährflüssigkeit angewendet.

Alle diese Ersatzflüssigkeiten sind indessen als mehr oder minder abnorm zu bezeichnen.

Dies gilt selbst vom unverdünnten, geschlagenen Blute des Versuchstieres selbst, denn das Schlagen des Blutes mit dem begleitenden Zertrümmern zahlreicher Blutkörperchen und den davon bedingten Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung des Blutes darf keineswegs als ein vollkommen unschuldiger Vorgang aufgefaßt werden.

Daß diese Veränderungen im Blute insbesondere auf gewisse Organe sehr schädlich einwirken, geht mit großer Deutlichkeit aus folgenden Erfahrungen von Pfaff und Vejnx-Tyrode (47) hervor.

Wie bei den Versuchen früherer Autoren war es auch bei diesen nicht möglich, die ausgeschnittenen, mit reinem, geschlagenem Blute ernährten

Nieren zu einer wirklichen Harnabsonderung zu bringen, wie auch die Versuchsbedingungen variiert wurden.

Die genannten Autoren kamen daher auf den Gedanken, daß die Ursache des Versagens ihrer Versuche in der Defibrinierung selber lag. Es zeigte sich in der Tat, daß der allmähliche Ersatz des normalen Blutes mit defibriniertem am sonst unversehrten Hunde früher oder später — je nach der Größe des Aderlasses und der Menge des injizierten defibrinierten Blutes — bewirkte, daß die Harnsekretion abnahm und in einigen Fällen gänzlich aufhörte.

Daß die lange Versuchsdauer für diese Erscheinung nicht verantwortlich gemacht werden konnte, folgt aus anderen Versuchen, wo die unter der Einwirkung des defibrinierten Blutes von seiten der Nierenabsonderung auftretenden Störungen gänzlich zurückgingen, wenn das defibrinierte Blut durch das normale ungeronnene Blut eines normalen Tieres ersetzt wurde.

Zur künstlichen Blutdurchströmung empfehlen daher Pfaff und Tyrode, statt defibrinierten Blutes, Blut, dessen Gerinnungsfähigkeit durch Blutegelextrakt aufgehoben worden ist.

Seinerseits gibt Brodie (6) an, daß sich bei der Gerinnung des Katzenblutes Substanzen bilden, welche die Nerven der Lungengefäße reizen, weshalb Brodie, unter der Voraussetzung, daß das gleiche auch für andere Gefäßgebiete der Fall ist, seine Durchblutungsversuche mit Blut macht, wo die Gerinnung durch Zusatz von Zitrat aufgehoben ist. Das Blut wird in eine starke Lösung von Natriumzitrat in einer Menge, die die Gerinnung aufhebt, aufgefangen. Solches Blut fließt leichter als defibriniertes durch die Gefäße.

Nach Hédon und Fleig (25) wirkt das defibrinierte Blut auf das isolierte Säugetierherz schädlicher als eine Salzlösung (vgl. unten) ein; die Herzkontraktionen werden dabei weniger frequent, es erscheint oft ein alternierender Rhythmus usw.

Wenn auch verschiedene Organe, wie es scheint, in bezug auf die bei der Gerinnung im Blute stattfindenden Veränderungen verschieden empfindlich sind, zeigen die hier erwähnten Erfahrungen jedenfalls, daß das geschlagene Blut nicht als eine völlig normale Nährflüssigkeit aufgefaßt werden kann.

In noch höherem Grade gilt dies natürlich vom artfremden Blut, und solches wird nunmehr wohl nur ausnahmsweise zur Speisung ausgeschnittener Organe der Warmblüter benutzt.

Auch die Verdünnung des Blutes gibt ja kein normales Blut, selbst dann nicht, wenn die Verdünnung nach dem Vorgange von Jacobj (27) in der Weise ausgeführt wird, daß nach einer ersten starken Blutentziehung eine schwach alkalische Gummi-Kochsalzlösung nach Albanese mit Blutegelextrakt in eine Vene eingespritzt und dann nach etwa 10 Minuten das Tier definitiv verblutet wird. Indessen scheint im allgemeinen das verdünnte Blut nicht ungünstiger als das verdünnte defibrinierte Blut auf die ausgeschnittenen Organe zu wirken, ja von mehreren Autoren wird sogar angegeben, daß die Resultate unter Anwendung verdünnten Blutes besser ausfallen, was sich daraus erklären ließe, daß die im geschlagenen Blute

vorhandenen schädlichen Stoffe durch den Zusatz der Salzlösung verdünnt werden.

Bei der Verdünnung benutzt man auf 1 Teil defibrinierten Blutes 1, 2 oder mehrere Teile einer Salzlösung.

Aus mehreren Versuchsreihen am Froschherzen ergab sich, daß das lackfarbene (zytolytische) Säugetierblut als Nährflüssigkeit ganz ungeeignet war. Die Ursache dieser Giftwirkung liegt nach Langendorff (35) und Brandenburg (5) darin, daß durch die Zerstörung der Blutkörperchen die in ihnen enthaltenen Kalisalze in das Serum übergehen, und tatsächlich erwies sich nur das zytolytische Blut solcher Tiere, deren Blutkörperchen einen hohen Kaligehalt aufweisen (Schwein, Kalb, Schaf, Ziege, Pferde, Meerschweinchen, Kaninchen), schädlich, Blut mit Blutkörperchen von geringem Kaligehalt (Hund, Katze) aber unschädlich.

Daß ein vom Körper isoliertes Organ bei der Durchströmung mit einer sauerstoffhaltigen Salzlösung, mit oder ohne Zusatz von Zucker, unter ganz abnorme Verhältnisse kommt, darüber dürfte wohl keine Meinungsverschiedenheit herrschen können. Andererseits ergibt indessen eine sehr reiche Erfahrung, daß ein solcher Art „ernährtes“ Organ noch lange leistungsfähig bleiben kann und daß wir also aus Versuchen nach dieser Methode wertvolle Aufschlüsse erhalten können. Jedenfalls muß man in bezug auf die Verwertung der direkten experimentellen Befunde zu weitergehenden Folgerungen sehr vorsichtig sein. Auch ist zu bemerken, daß sich verschiedene Organe bei der künstlichen Ernährung mit Salzlösungen sehr verschieden verhalten können.

Als künstliche Nährflüssigkeit hat man bei den Kaltblütern vielfach die physiologische, 0.6—0.7 prozentige Kochsalzlösung benutzt und sie als im großen und ganzen ziemlich indifferent aufgefaßt. Es zeigte sich indessen, daß dies nicht ganz richtig war und daß bei dem hier vor allem in Betracht kommenden Objekt, dem Froschherzen, der Zusatz von gewissen kleinen Mengen von Chlorkalium, Chlorkalzium und Soda eine sehr günstige Wirkung ausübte (Ringer-Lösung).

Nun fing man an, die Anwendbarkeit eines reinen Salzgemisches auch am Säugetierherzen zu prüfen, und in der Tat zeigte es sich, daß eine zweckmäßig modifizierte, mit Sauerstoff gesättigte Ringerlösung, insbesondere nach Zusatz von Dextrose, in hohem Grade befähigt war, die rhythmischen Kontraktionen des vom Körper ausgeschnittenen Säugetierherzens zu unterhalten (Locke; 36, 37).

Seitdem ist diese Flüssigkeit auch an anderen vom Körper isolierten Organen geprüft worden. Hierbei hat es sich ergeben, daß gewisse Organe unter dem Einfluß derselben lange und lebhaft leistungsfähig bleiben, während andre Organe dagegen gar keine günstige Wirkung derselben erkennen lassen.

So finden Guthrie, Pike und G. N. Stewart (20), daß eine Lösung der anorganischen Salze des Blutes gar nicht vermag, die Tätigkeit des Gehirns einschließlich des Kopfmarkes zu unterhalten, ja selbst wenn sie mit einer nicht ganz geringen Menge Blut gemischt wird, ist eine solche Lösung wirkungslos. Guthrie (22) teilt Versuche mit, nach welchen die Perfusion einer in situ befindlichen Niere mit der Salzlösung schädlicher einwirkt als eine ebenso lange dauernde Anämie.

Auch Hédon und Fleig (25) bemerken, daß die Salzlösung nicht als Nährflüssigkeit für das zentrale Nervensystem dienen kann; dagegen heben sie, wie früher Magnus, hervor, daß die Muskulatur des Darmtraktus sowie überhaupt alle Organe mit glatten Muskeln und peripheren Ganglien, unter anderem auch die Gebärmutter, in einer solchen Flüssigkeit lange lebens- und leistungsfähig erhalten werden und darin rhythmische Kontraktionen ausführen. Durch defibriniertes Blut, selbst wenn es von demselben Individuum entnommen wurde, werden Hemmungserscheinungen am Darm hervorgerufen.

Noch nach 10 bis 12 Stunden ist der ausgeschnittene Oesophagus in der Salzlösung erregbar.

Wenn der Hinterkörper mit der Salzlösung durchspült wird, kann man noch nach einer Stunde durch Reizung des N. ischiadicus Kontraktionen im M. gastrocnemius erhalten, und wenn der Nerv nicht mehr erregbar ist, antwortet der Muskel noch weiter auf die Reizung.

Die von Locke (36) zur Speisung des isolierten Säugetierherzens ursprünglich empfohlene Flüssigkeit hatte folgende Zusammensetzung: 0,01 bis 0,03% $NaHCO_3$ (nicht Na_2CO_3), 0,024% $CaCl_2$, 0,042% KCl, 0,9 bis 1,0% NaCl[1]). Keine entschieden schlechteren Resultate gab eine Lösung, welche 0,02% $CaCl_2$ und 0,02% KCl enthielt[2]). Ein Einfluß von Magnesium ließ sich auf das Herz nicht konstatieren. Sehr günstig wirkte der Zusatz von Dextrose in einer Menge von 0,001 bis 1,0%.

Schon früher hatte Rusch (48) folgende Flüssigkeit (ohne Sauerstoff) benutzt: 0,01% $NaHCO_3$, 0,01% $CaCl_2$, 0,0075% KCl und 0,8% NaCl; die für die Lösung erforderlichen Salze sollen in der angeführten Reihenfolge gelöst werden, da sonst Niederschläge leicht gebildet werden und die Lösung ganz unbrauchbar machen.

Obgleich die Zusammensetzung der Salzlösung nach der der Blutasche hergeleitet wurde, ist es von vornherein nicht gerade unmöglich, daß die zweckmäßigste Zusammensetzung derselben bei verschiedenen Organen etwas verschieden wäre. Dem entsprechend soll, nach Hédon und Fleig (25), die für das Erhalten der Bewegungen des Darmes und der übrigen oben genannten Organe beabsichtigte Flüssigkeit am besten in folgender Weise zusammengesetzt sein: 0,6% NaCl, 0,03% KCl, 0,01% $CaCl_2$, 0,03% $MgSO_4$, 0,05% HNa_2PO_4, 0,15% $HNaCO^3$ und 0,1% Dextrose. In dieser Flüssigkeit bewegt sich der ausgeschnittene Darm 8 bis 12 Stunden lang, während die Bewegungen in der Lockeschen Lösung nur etwa 4 bis 5 Stunden dauern. Auf den Ureter übt dagegen $HNaCO_3$ eine hemmende Wirkung aus.

II. Die Präparierung der Organe.

Obgleich es im großen und ganzen einfach ist, an einem soeben getöteten Tiere in die Gefäße eines bestimmten Organes Kanülen zum Zwecke der künstlichen Zirkulation einzubinden und es dann auszuschneiden, um die künstliche Zirkulation zu etablieren, seien dennoch einige Angaben der Autoren über die Präparierungsweise hier mitgeteilt, da sie in einzelnen Fällen von Nutzen sein können.

---

1) Diese Lösung ist an der Darmmuskulatur von Cohnheim (12) und an der Gebärmutter von Kehrer (30) benutzt worden (0,03% $NaHCO_3$, 0,9% NaCl).

2) Kurdinowski (34) wendet diese Lösung mit 0,02% $NaHCO_3$ an.

Ein bei den Versuchen an überlebenden ausgeschnittenen Organen nicht selten auftretender Übelstand ist die **Blutung** aus kleinen durchschnittenen Gefäßen. Um sie zu vermeiden, rät **Bernstein** (2), alle zum Versuche notwendigen Operationen so viel möglich **vor** der Blutentziehung vorzunehmen, was den Vorteil hat, daß in allen verwundeten Gefäßen Gerinnung eintritt. Geschieht die Präparation aber nachher, so erfolgt bei der Durchleitung des defibrinierten Blutes aus der kleinsten Wunde eine nicht zu stillende Blutung.

Die Blutstillung ist auch Gegenstand einer besonderen Aufmerksamkeit in der Arbeit von **Ludwig** und **Alex. Schmidt** (41) an überlebenden Muskeln (Mm. biceps und semitendinosus des Hundes).

Soweit man die Absicht hat, die gesamte Masse dieser Muskeln zum Versuch zu benutzen, müssen mindestens zwei Arterienkanülen eingebunden werden: die eine in den Zweig der A. hypogastrica, die andere in den Kniekehlenast der A. cruralis. Alle anderen Zweige werden sorgfältig gebunden. Wünscht man den Strom auf den M. biceps allein zu beschränken, so wird es nötig, noch den Zweig für den oberen Teil des M. semitendinosus zu unterbinden. In derselben Weise werden auch in den Venen zwei Kanülen eingebunden.

Die Muskeln werden dann vom Oberschenkel abgelöst, so daß sie nur noch mit dem übrigen Körper in Verbindung stehen. Dann wird der Sitzbeinhöcker ausgesägt, so daß dieser mit den herausgenommenen Muskeln verbunden bleibt; die größeren Venenzweige werden gebunden und der Sägeschnitt des Knochens mit Eisenchloridlösung betupft.

Die beiden Arterienkanülen, bzw. die beiden Venenkanülen werden unter Vermittlung je eines Y-Rohres mit dem Schlauch der Blutflasche vereinigt.

Bevor nun der eigentliche Versuch beginnt, wird defibriniertes Blut (bzw. eine andere Nährflüssigkeit) durch das auf einer starken Glasplatte liegende Präparat geleitet, teils um noch vorhandenes ungeronnenes Blut herauszuspülen, teils um die richtige Lage des Präparates zu ermitteln, teils endlich um zu erfahren, ob die Gefäße in genügendem Umfang gebunden sind. Bei sorgfältiger Präparation kommt überhaupt keine nennenswerte Blutung vor, aber nur in dem Falle, wenn der Muskel mit seiner der Haut zugekehrten Fläche auf einer Glasplatte ruht, wobei die zahlreichen Venenästchen, die von dieser Fläche zum Unterhautbindegewebe hinlaufen, zusammengedrückt werden. Wenn der Muskel senkrecht herabhängt, bluten dagegen die Verbindungsästchen zwischen Muskel- und Hautvenen sehr häufig.

Übrigens lassen sich die Blutungen in wesentlichem Grade beherrschen, wenn man die Präparation, wo dies möglich ist, unter Anwendung des Thermokauters ausführt.

Über ein für die Untersuchung des überlebenden, isolierten **Warmblütermuskels** sehr geeignetes Präparat berichtet **Bottazzi** (4) folgendes:

Das Präparat besteht aus dem N. phrenicus in Verbindung mit einem Streifen des Zwerchfellmuskels. Nachdem das Tier getötet worden ist, werden die Pleurahöhlen eröffnet und ein Teil des Brustkastens entfernt. Bei der Erweiterung der Ränder der Öffnung sieht man ganz deutlich die beiden Nn. phrenici, die Thoraxoberfläche des Zwerchfelles und die Stelle,

wo der Nerv den Muskel erreicht. Hierauf trennt man durch zwei parallele, vom Kostalrand gegen das Centrum tendineum hin geführte Schnitte einen breiten Streifen des Pars costalis des Zwerchfells so ab, daß er den ganzen Teil umfaßt, in dem der Nerv in den Muskel eindringt. Um den Nerven nicht zu verletzen, ist es zweckmäßig, zugleich mit dem Muskelstreifen das ganze Foramen pro vena cava mitzunehmen.

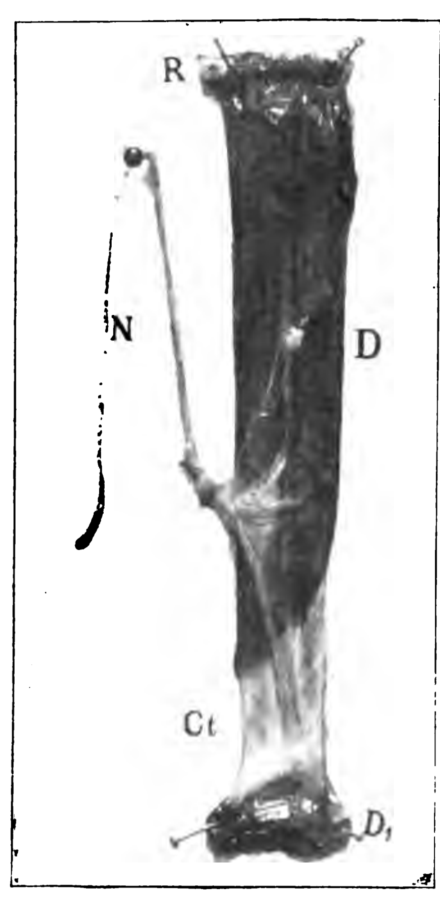


Fig. 1.
Nerv-Muskelpräparat aus dem Zwerchfell; nach Bottarri.

Nach der Ausschneidung wird der Muskelstreifen auf eine mit warmer Ringerscher Lösung durchnäßte Korkplatte vorsichtig gelegt, ausgebreitet und durch vier Nadeln so fixiert, daß die Muskelbündel einander parallel geordnet sind. Nachdem man die Eintrittsstelle des Nerven genau aufgesucht hat, isoliert man endlich durch zwei glatte parallele Schnitte einen schmäleren Muskelstreifen so, daß er in der Mitte seines Sehnenendes die Nerveneintrittsstelle umschließt, schneidet die Rippen durch und behält ein kleines Stück Rippe zur Fixierung des Präparats in der feuchten Kammer.

Das Aussehen des Präparates ist aus Fig. 1 ersichtlich; D, Muskelstreifen des Zwerchfells; R, Stück einer Rippe: Ct, Centrum tendineum: D_1, ein Stück des Zwerchfells der gegenüberliegenden Seite; N, N. phrenicus.

Das Präparat, das aus lauter parallelen Muskelbündeln besteht, wird in eine Röhre mit Lockescher Lösung gebracht.

Bei seinen Durchströmungsversuchen an dem Hinterkörper des Hundes, trennte von Frey (18) die Bauchdecken dicht am Rippenrande durch, drängte die Eingeweide in die Höhlung des Zwerchfells und löste, mit Ausnahme des untersten von der A. mesenterica inf. versorgten Stückes des Mastdarms, die Eingeweide von ihrem Mesenterium ab, der Stumpf des Mastdarms wurde unterbunden, die Wirbelsäule samt ihren Muskelmassen zwischen Brust und Lendenbein oberhalb der Nieren durchschnitten. In die V. cava und Aorta wurden Kanülen dicht unterhalb des Abganges der Nierengefäße eingesetzt. Eine Fadenschlinge wurde um die durchschnittenen Muskeln der Lendenwirbelsäule gelegt und zwischen den Nieren und den Glaskanülen durchgezogen.

Um der Unterbindung aller einzelnen durchschnittenen Gefäße zu entgehen,

wurden drei Massenligaturen angebracht. Die erste galt den durchschnittenen Venen des Wirbelkanals und wurde durch einen kleinen Kork hergestellt, der nach Abtragung eines kurzen Stückes Rückenmark etwa 5 mm weit in die Höhlung eingesteckt wurde. Die zweite Gesamtligatur umfaßte die ganze Muskelmasse, welche den Stumpf der Lendenwirbelsäule einhüllt. Demselben Zwecke diente schon die oben erwähnte Fadenschlinge, welche unterhalb der Nieren durchgezogen worden war; sie konnte indessen nur als provisorische Ligatur gelten, denn die Stillung der Blutung aus dem tiefliegenden, zunächst der Wirbelsäule verlaufenden Gefäße gelang nur durch eine kräftige Kompression, und zu diesem Zwecke wurde daher der Wirbelstumpf samt Muskeln und Rückenhaut von den Armen einer starken eisernen Zange umfaßt und durch Anziehen von Schrauben eingeschnürt. Die Aufgabe der dritten Ligatur war, die Blutung aus den durchschnittenen Gefäßen der Bauchwand zu verhindern. Dazu wurde ein Reif aus starkem Eisenblech benutzt, der mit seinem breiten mittleren Teil zu einem Halbkreis mit nach außen umgekrämptem Rande gebogen war und dessen schmälere Enden nach innen umgeschlagen waren. Dieser Reif wurde in die Bauchhöhle eingeführt, so daß die Bauchwandungen darüber lagen, die nach innen gebogenen Ränder ruhten auf den Querfortsätzen der Wirbel. Ein starker Draht wurde über die Weichteile der Bauchwand in die Kehle des Reifes gedrückt, hinter der Wirbelsäule herumgeführt, seine Enden angezogen, so daß sämtliche Weichteile durch die eine Schlinge umfaßt wurden.

In der Kehlung des Reifes wurde endlich eine Schürze aus Kautschuktuch aufgebunden, rückwärts über die Lichtung des Reifes gespannt und um die Kanülen und die Wirbelsäule geschlungen. Sie sollte dazu dienen. Verdunstung aus der Bauchhöhle und Diffusion von Gasen hintanzuhalten,

Embden und Glässner (14) stillten die Blutungen bei Versuchen am Hinterkörper des Hundes durch je eine Massenligatur längs der beiden Seitenränder der Bauchwunde, sowie durch eine querlaufende Ligatur auf jeder Seite in der Höhe des unteren Nierenpols.

Zur Untersuchung des überlebenden Darmes benutzte Salvioli (50) Darmstücke von 10 bis 15 cm Länge. Unter sorgfältiger Erhaltung des zugehörigen Mesenteriums wurde das ausgewählte Stück abgetrennt und auf die peritoneale Fläche eines großen aus den Bauchdecken herausgeschnittenen, auf einer Korkplatte befestigten Lappen ausgebreitet und mit Nadeln festgesteckt. In der entsprechenden Äste der A. und V. mesenterica superior wurden Glaskanülen eingesetzt und die größeren kollateralen Blutgefäße unterbunden.

Wenn die Bewegungen der Muskelhaut studiert werden sollten, wurden die beiden Mündungen des Darmrohres offen gelassen, damit sich der ursprünglich vorhandene oder ein durch Exsudation erzeugter Inhalt entleeren konnte und nicht durch seine Verschiebungen eine mechanische Reizung des Darmes hervorrufen sollte.

Bei der Untersuchung der Resorptionsfähigkeit des Darmes wurde der ursprüngliche Inhalt zunächst mittels einer 0.5 prozentigen Kochsalz-Lösung ausgespült, dann die zu resorbierende Flüssigkeit hineingefüllt und die beiden Mündungen des Darmrohres zugebunden, wobei darauf zu achten war, daß die Wand nicht übermäßig stark gespannt werden würde.

Bei Asps (1) Versuchen an der Leber wurde am kuraresierten Kaninchen die Kanüle in die Pfortader eingesetzt und der künstliche Blutstrom eingeleitet, während die Leber noch von ihrer Arterie aus mit Blut versorgt wurde. Endlich wurde die Leber so rasch wie möglich ausgeschnitten, die untere Hohlvene unmittelbar vor ihrem Eintritt in die Leber gebunden und in dasselbe Gefäß jenseits des Zwerchfelles ein weites Glasrohr zum Auffangen des aus der Leber hervortretenden Blutes eingesetzt.

Zur Vermeidung des Austrittes von seröser Flüssigkeit auf die freie Oberfläche der Leber empfiehlt Wyssokowitsch (58) folgendes Verfahren. Die Leber des verbluteten Hundes wird freigelegt, die V. portae diesseits, die V. cava im Thorax jenseits derselben mit einem leicht lösbaren Verschluß versehen; beide Venen werden außerhalb der Ligatur durchschnitten, so daß noch jenseits derselben ein Raum für die einzulegenden Glaskanülen übrig bleibt. Hierauf wird die V. cava kurz unterhalb der Leber fest unterbunden, das Zwerchfell gelöst und dann die Leber mit diesem, nachdem die Venen mit Glaskanülen armiert worden sind, mit dem Zwerchfell nach unten auf ein Haarsieb gelegt, in dessen Mitte sich eine Öffnung für die Kanüle der V. cava inferior befindet.

Brodie (6) wiederum findet, um bei Versuchen an der isolierten, in situ liegenden Leber Blutverluste zu vermeiden, es am zweckmäßigsten, das venöse Blut aus dem rechten Vorhof zu sammeln, denn wenn die Kanüle in die V. cava inferior unmittelbar oberhalb des Zwerchfelles eingebunden wird, entstehen Blutungen wegen der Anastomose zwischen der Lebervene und den Venen des Zwerchfelles. Auch ist das Entfernen der Därme und der Lungen, sowie die Bindung der Leberarterie zu empfehlen.

Grube (19) bindet am lebenden Tiere die Kanüle in die Milzvene ein, weil das Tier zu schnell stirbt, wenn die Kanüle in den Stamm der V. portae eingesetzt wird. Beim Versuch wird dann die Leber in situ gelassen.

In den Pfortaderkanülen resp. im Hauptaste der Pfortader bildet sich sehr leicht ein äußerst störendes Gerinnsel. Um dies beseitigen zu können, führten Embden und Glaessner (14) von der Kanüle aus unmittelbar, nachdem sie eingebunden war, einen dicken Faden in die V. portae ein. Das äußere Ende des Fadens wurde zunächst an der Kanüle festgebunden. Der Faden wurde erst unmittelbar vor der Verbindung der Kanüle mit dem blutzuführenden Schlauch entfernt und gleichzeitig das an ihm fest anhaftende Gerinnsel. Um bequem an die Stelle gelangen zu können, wo die Hohlvene hinter die Leber tritt, ist es zweckmäßig, vorher die von der Leber zur rechten Niere ziehende Peritonealfalte zu durchtrennen.

Bei den Versuchen von Bunge und Schmiedeberg (9) wurden die Nieren mit der Fettkapsel ausgeschnitten. Niemals ließ es sich vollständig vermeiden, daß eine geringe Menge Blut auch auf anderem Wege als durch die große Vene die Kapsel durchdrang.

Diesem Übelstande läßt sich nach I. Munk (45) begegnen, wenn man bei der Auslösung des Organes am Hilus möglichst viel vom umliegenden Fettgewebe an der Niere läßt und eventuell noch die abgeschnittenen Lappen der Fettkapsel und des Fettgewebes oberhalb und unterhalb der Kanülen möglichst en masse mittels 2 Fäden unterbindet. Zuweilen kommt es auch dann noch vor, daß aus einer zirkumskripten Stelle Blut dringt; es ist dies

auf oder neben dem Ureter, wo die von den Spermaticae kommenden Zuflüsse verlaufen. Zumeist werden aber diese Bahnen gleichzeitig mit der Einbindung der Kanüle in den Ureter geschlossen.

Hekman (26) läßt die durchzuströmende Niere in situ in der Bauchhöhle bleiben.

In den Versuchen von Stern (54) wurde der Ureter mit der Niere und der entsprechenden Hälfte der Blase exstirpiert und in Lockes Lösung untersucht. Dabei fixierte die Niere als eine Art von Anker das eine Ende

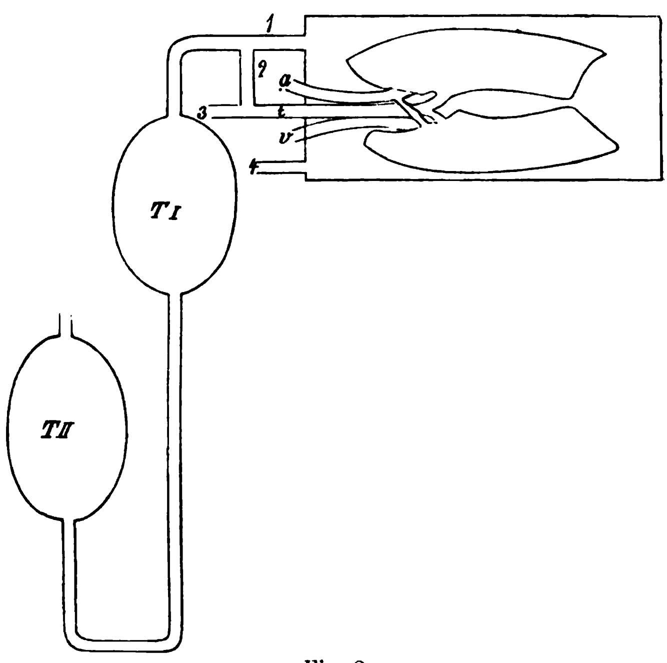


Fig. 2.
Apparat zur künstlichen Zirkulation durch die Lungen; nach Ludwig.

des Ureters am Boden des Gefäßes, während das Blasenende auf einem Korkstückchen an der Oberfläche der Flüssigkeit schwamm.

Damit, bei Versuchen über die Atmung in der Lunge, durch den gesamten sie begrenzenden Flächenkomplex weder Kohlensäure aus dem Blute, noch Sauerstoff in dasselbe trete, schloß J. J. Müller (44) die zusammengefallenen Lungen in einen luftdicht schließenden Kautschukbeutel ein und spülte die solcherart gebildete künstliche Pleurahöhle vor dem Versuche wiederholt mit reinem Stickstoff aus.

Wenn die beiden Lungen benutzt wurden, wurde die venöse Kanüle in den linken Vorhof gesetzt; wenn nur die eine angewandt wurde, wurden Kanülen in die Lungenvenen direkt eingefügt.

Es trat nie eine irgend erhebliche Blutung ein, wenn auch andererseits fast in keinem Versuche ein Blutaustritt gänzlich zu vermeiden war.

Auch bei der Durchströmung einer Lunge bindet Brodie (6) die venöse Kanüle in den linken Vorhof ein; die arterielle Kanüle wird in die Lungenarterie eingesetzt und die beiden Kammern sowie die Wurzel der linken Lunge mit Massenligaturen gebunden. Die rechte Lunge dient dann als Versuchsobjekt.

Um der wechselnden Weite der Lungengefäße, wie sie bei der natürlichen Atmung stattfindet, Rechnung zu tragen, verfährt Ludwig (vgl. Stolnikow; 55) folgendermaßen. Die Lungen werden in den hermetisch verschließbaren Glaskasten (Fig. 2) eingeschlossen (**a**, Lungenarterie: **v**, Lungenvene; **t**, Trachea). In den Hohlraum um die Lungen öffnen sich die 2 Röhren 1 und 4, von denen 1 teils mit dem Wasserbehälter T_I, teils durch den Seitenzweig mit 3 verbunden ist. Wenn 2 und 4 geschlossen sind, und T_{II} gesenkt wird, so strömt das Wasser aus T_I dorthin; es entsteht also eine Ansaugung im Kasten, die Lungen erweitern sich wie bei der normalen Atmung. Als T_{II} gehoben wird, wird die Luft im Kasten zusammengepreßt und die Lungen fallen zusammen. Man kann also hier den Strom durch die Lungengefäße während der verschiedenen Phasen der natürlichen Atmung untersuchen.

Wenn 2 und 4 offen, 1 und 3 dagegen geschlossen sind, so wird die Lunge, wie bei der künstlichen Atmung durch Einblasen von Luft in die Trachea, beim Heben des Behälters T_{II} ausgedehnt und fällt beim Senken desselben zusammen.

Bei der Präparation der Gebärmutter zum Zwecke der künstlichen Durchspülung führt man, nach Kurdinowsky (34), nach dem Bauchschnitt in die Aorta unterhalb des Ausgangspunktes der Nierenarterien eine Kanüle ein, die mit der Flasche mit der Nährflüssigkeit verbunden wird. Die Flüssigkeit strömt durch die Gefäße der Gebärmutter und in die untere Hohlvene ein. Erst wenn die ausfließende Flüssigkeit vollkommen klar ist, wird die Gebärmutter herausgeschnitten, indem man die Symphysis pubis abtrennt und ihren vorderen Halbring mittels einer Knochenzange gänzlich ablöst. Die Scheide wird zusammen mit der Harnblase und dem Mastdarm, in der Richtung nach oben bis dicht an den Teilungspunkt der Aorta in die A. iliacae comm., auf stumpfem Wege abgelöst.

Diese beiden Arterien sowie andere vorhandenen Arterien werden gebunden, die Gebärmutter mit ihren Adnexen und den zu diesen gehenden Gefäßen, den breiten und runden Mutterbändern und dem ganzen beiliegendem Zellgewebe von allen unterliegenden Teilen stumpf losgetrennt. Hierauf wird die Scheide von dem Mastdarm abgetrennt und die Aorta und Vena cava durchschnitten.

Im Laufe eines Durchströmungsversuches begegnet man in der Regel dem Übelstand, daß die durch das Organ durchfließenden Mengen der Nährflüssigkeit immer geringer werden, wodurch natürlich die Leistung des Organs immer mehr abnehmen muß.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt teilweise in einer Verstopfung der Kapillaren durch rote Blutkörperchen, teilweise beruht sie auf Veränderungen der Gefäße, welche sich am ausgeschnittenen Organ immer mehr zusammenziehen.

Dieser Übelstand wird in einem nicht geringen Grade vermieden, wenn man bei der künstlichen Zirkulation den Druck anfangs ziemlich niedrig hält und ihn allmählich, je nach dem stattfindenden Bedarf, erhöht. Ferner muß auch der Druck je nach dem speziellen Organ verschieden hoch sein.

So soll man, nach J. J. Müller (44), bei der Zirkulation durch die ausgeschnittene Lunge mit einem Druck von nur etwa 5 mm Hg anfangen und kann ihn allmählich auf 20 bis 30 mm Hg erhöhen.

Beim Muskel benutzten Ludwig und Alex. Schmidt (41) im Beginn der Versuche einen Druck von 40 bis 60 mm Hg und ließen ihn dann allmählich auf 100 bis 150 mm Hg ansteigen. Sie bemerken, daß auch vorübergehende, nur einige Minuten dauernde Druckerhöhungen zu vermeiden sind, denn ein hoher Druck pflegt in der Regel den Widerstand dauernd zu erhöhen.

Nach Salviolis (50) Erfahrungen durfte der Druck bei Versuchen am ausgeschnittenen Darme nicht über 100 mm Hg hinausgehen, weil sonst Ödem und Bluterguß in der Schleimhaut auftreten. In der Regel benutzte er beim Kaninchen einen Druck von 60 mm, und beim Hunde einen von 75 mm Hg.

Bei seinen Durchströmungsversuchen an der Leber benutzte Grube (19) einen Druck von 20 bis 30 mm Hg.

Übrigens ist ein rhythmisch wirkender Druck, wie insbesondere Hamel und Kronecker (23) nachgewiesen haben, weniger schädlich als eine kontinuierliche Spannung, und die Gefäße eines ausgeschnittenen Organs lassen — gleiche Zeiten des wirklichen Zuflusses vorausgesetzt — bei rhythmischer Speisung bei weitem mehr Flüssigkeit als bei kontinuierlicher Strömung durch, wie auch in jenem Falle die auftretenden Ödeme nur ganz unbeträchtlich sind. Auch ist man beim Bau der neueren Apparate für die künstliche Durchströmung isolierter Organe vielfach bestrebt gewesen, die rhythmische Tätigkeit des Herzens nachzuahmen.

Endlich hat man in einzelnen Fällen auch versucht, durch Zusatz von Narkotica zum Blute der allmählich eintretenden Verengerung der Gefäße vorzubeugen.

Um bei der Untersuchung der Blutgase am isolierten Organ die Diffusion der Kohlensäure auf ein Minimum herabzudrücken, haben Minot (42) und andere in den Kasten, wo das Organ aufbewahrt war, reines Olivenöl eingegossen, bis das Organ mit einer fingerdichten Schicht desselben bedeckt war.

Da zurückgebliebene Blutreste durch später erfolgende Gerinnung den Versuch ganz vereiteln können, empfiehlt es sich, vor dem Beginn des eigentlichen Versuches die Gefäße des Organes mit der auch später anzuwendenden Lösung auszuspülen.

Bei Versuchen, wo der Blutstrom durch eine Pumpe unterhalten wird, ist es vorteilhaft, in der Leitung ein Manometer zur Ablesung des Druckes anzubringen.

III. Die für die künstliche Speisung der isolierten Organe gebauten Apparate.

In einer unter Ludwigs Leitung ausgearbeiteten Dissertation erwähnt Loebell (38) die ersten Versuche mit künstlicher Blutströmung durch überlebende Organe (1849). Diese fanden an ausgeschnittenen Schweinsnieren statt und bezweckten in erster Linie, das Verhältnis zwischen der durch die Niere strömenden Blutmenge und die Menge des gleichzeitig abgesonderten Harns festzustellen. Als Nährflüssigkeit wurde defibriniertes Blut benutzt. Der Durchströmungsdruck wurde in einfacher Weise verändert und manometrisch bestimmt. Auch in den Ureter wurde ein Manometer eingesetzt. Näheres über die Versuchsanordnung ist in der Arbeit von Loebell nicht mitgeteilt worden.

Dreizehn Jahre später (1862) wurde dasselbe Thema Gegenstand einer Untersuchung von E. Bidder (3). Aus dem Gefäß mit defibriniertem Blut wurde hier das Blut durch den Druck einer Quecksilbersäule durch die Niere getrieben.

Indessen fanden ausgedehntere Versuchsreihen an ausgeschnittenen Organen der Warmblüter erst vom Jahre 1867 an statt, wo Ludwig anfing, die hierhergehörigen Methoden systematisch zu entwickeln. Der von Alex. Schmidt (51) bei Versuchen über den Gaswechsel der ausgeschnittenen Niere benutzte Apparat stimmte wesentlich mit dem von Bidder abgebildeten überein und bestand aus einer mit Quecksilber gefüllten Druckflasche **A**, die auf einem Stativ erhoben und gesenkt werden konnte. Aus ihrer unteren Tubulatur ging ein Gummirohr hervor, das mit der unteren Tubulatur einer mit Blut gefüllten Flasche $\mathbf{A}^1$ verbunden war. Von letzterer strömte das Blut durch einen Schlauch zu der Nierenarterie, und aus der Nierenvene floß das Blut in eine zweite Blutflasche $\mathbf{B}_1$, die ihrerseits mit einer Quecksilberflasche **B** verbunden war; diese stand unterhalb des Niveaus der venösen Blutflasche und wirkte also ansaugend auf das Blut.

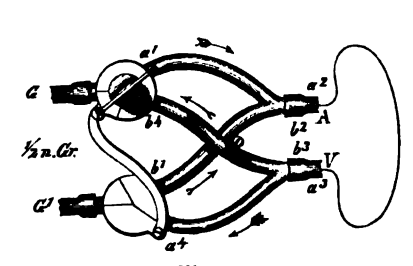


Fig. 3.
Stromwender nach Ludwig.

Nach Entleerung der ersten Blutflasche $\mathbf{A}_1$ wurde die zweite $\mathbf{B}_1$ zur Speisung der Niere verwendet, indem die zugehörige Quecksilberflasche **B** jetzt gehoben und die Quecksilberflasche **A** gesenkt wurde und gleichzeitig die Richtung des Stromes durch einen Stromwender entsprechend verändert wurde.

Dieser hatte folgenden Bau (Fig. 3). **A** stellt die Arterie, **V** die Vene dar; mittels der Gummiröhren **G** und $\mathbf{G}^1$ findet die Verbindung mit den beiden Blutflaschen statt. Diese Schläuche sind an je einem Hahn befestigt und die beiden Hähne durch eine Hebelstange, wie aus der Figur ersichtlich, gelenkig miteinander verbunden. Die Durchbohrungen der Hähne sind durch die Linien in der Zeichnung angedeutet. Die Hebelstange bewirkt eine gleichzeitige Drehung beider Hähne, wobei ihre Drehungsrichtung immer eine entgegengesetzte ist. Bei der Lage der Hähne, die in der Figur 3 dargestellt ist, strömt das Blut von **G** durch $\mathbf{a}^1$ nach **A** und von **V** durch $\mathbf{a}^4$

nach **G**[1]; beim Umdrehen des Hahnes strömt aber das Blut von **G**[1] durch **b**[1] nach **A** und von **V** durch **b**[4] nach **G**.

Beim Versuch waren die Blutflaschen, der Stromwender und die Glaskapsel mit der Niere in einen geräumigen mit Wasser von 37 bis 40° C. gefüllten Kasten aus Eisenblech eingesetzt.

In der Fortsetzung ihrer Untersuchungen stellten sich Ludwig und Alex. Schmidt (1868; 41) die Aufgabe, einen künstlichen Strom frischen, faserstofffreien Blutes durch den eben ausgeschnittenen Muskel zu leiten, diesen hierdurch lebendig zu erhalten und die Veränderungen zu untersuchen, welche das Blut während seines Durchganges durch den Muskel erfährt.

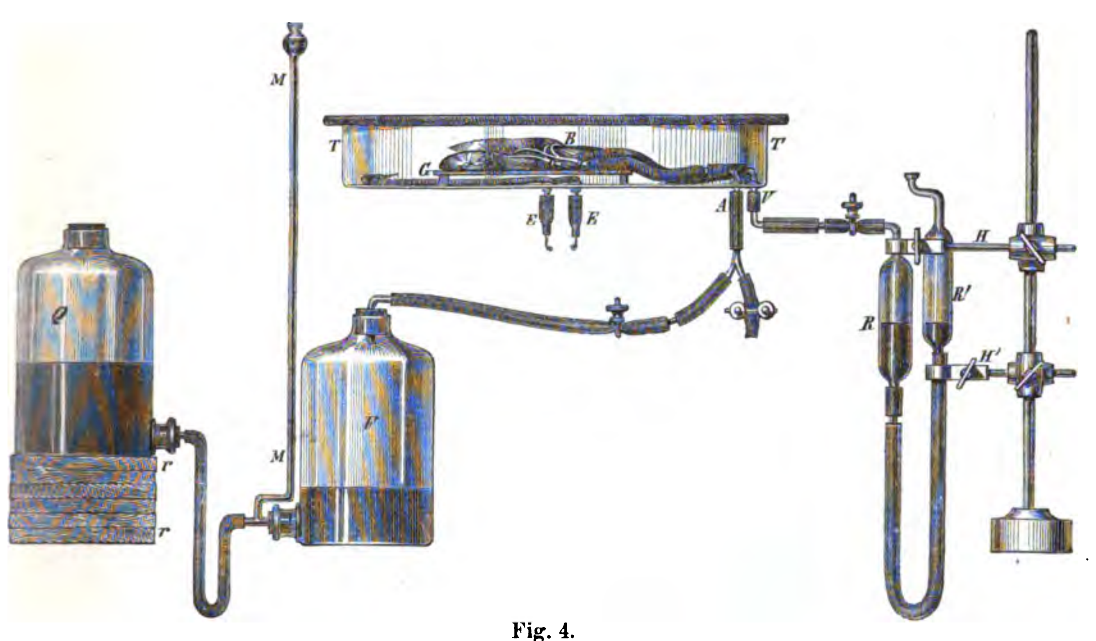


Fig. 4.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Ludwig und A. Schmidt.

Beim Versuch wurde das Präparat in einen Glasteller gebracht, dessen obere Öffnung mit einer Spiegelplatte bedeckt war. Durch den Boden des Tellers waren vier Löcher gebohrt, zwei für Elektroden zur Reizung der Muskeln, zwei für die Verbindung der Gefäße mit den entsprechenden Blutflaschen.

Sonst ist der Apparat in allem Wesentlichen desselben Baues wie der soeben beschriebene (vgl. Fig. 4, die wohl keine nähere Beschreibung nötig hat; die Quecksilbergefäße **R** und $\mathbf{R}_1$ dienen zur Probeentnahme vom Blut).

In dem von Asp (1873; 1) beschriebenen Apparat wurde die direkte Berührung des Quecksilbers mit dem Blute dadurch vermieden, daß zwischen der Druckflasche mit Quecksilber (**a**, Fig. 5) und der Blutflasche (**c**) eine mit Luft gefüllte Flasche (**b**) eingeschaltet wurde. Vgl. Fig. 5, welche die Versuchsanordnung in der Vogelperspektive darstellt.

Eine weitere Ausbildung der Methodik bietet folgende von **Mosso** (1874; 43) beschriebene Vorrichtung, die sich in erster Linie auf die Niere bezog, dar (vgl. Fig. 6).

Die Niere wurde auf ein seidenes Netz in das flache, zylindrische Präparatenglas **P** gelegt, das sonst mit Olivenöl gefüllt und mit dem Deckel **O** geschlossen war. Der Boden des Präparatglases lief in der Mitte in einen Trichter **Q** aus, der mit einer graduierten und unten mit einem Hahn ver-

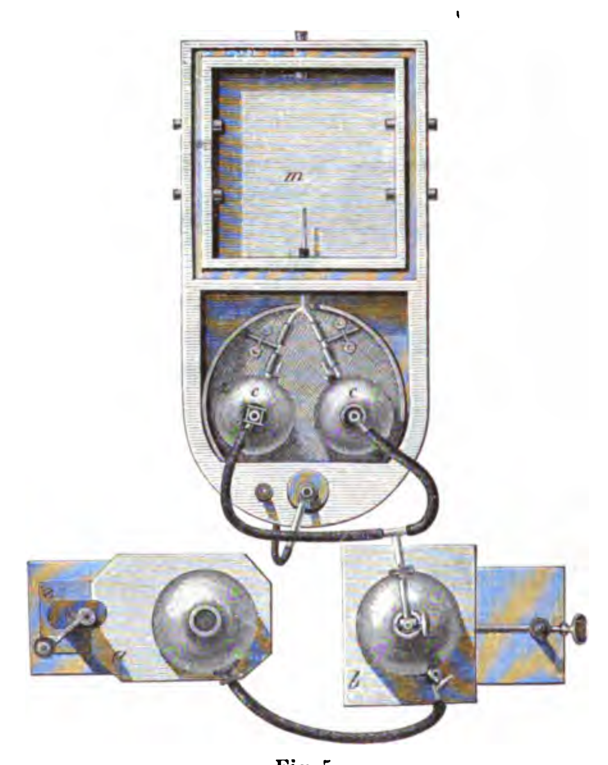


Fig 5.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Ludwig.

sehenen Rohre in Verbindung stand. Auf diese Weise konnten die Exsudate und das austretende Blut bestimmt und beliebig herausgelassen werden.

Durch die Glasröhre bei P wurde das arterielle Blut der Niere zugeführt; das venöse Blut wurde in ein manometer-förmiges Glasrohr **RR**$_1$ geleitet und gemessen.

Große Sorgfalt war darauf angewendet, den arteriellen Druck möglichst konstant zu erhalten. Durch die auf einer beliebigen Höhe einzustellenden Mariotteschen Flasche **B** wurde die Luft im Behälter **E** unter einen konstanten Druck gestellt. Dieser wirkte auf die kleinen, blutenthaltenden Mariotteschen Flaschen **G** und **G'** ein, aus denen das Blut durch das überlebende Organ strömte. Von den Flaschen G, G' standen mehrere zur Ver-

fügung und konnten durch die Hähne **M** $\mathbf{M_1}$ nach Bedarf ausgeschaltet werden. Der Blutdruck unmittelbar vor dem Organ wurde durch das Manometer **N** gemessen.

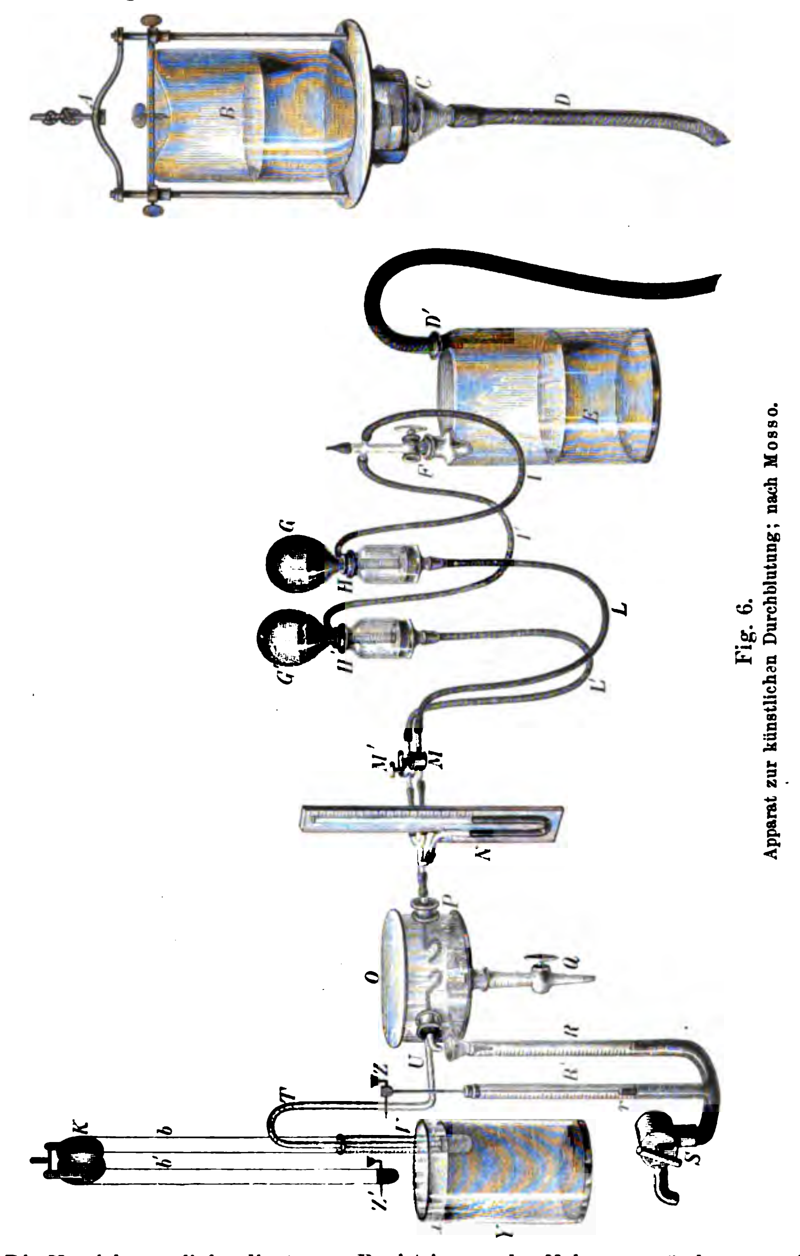


Fig. 6.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Mosso.

Die Vorrichtung links diente zur Registrierung der Volumenveränderungen des Organes. Das Öl in P stand durch das Rohr **T** mit dem Probiergläschen **V** in Verbindung. Letzteres war in das mit Öl gefüllte Becherglas gesenkt und so gestellt, daß sein

Flüssigkeitsniveau in gleicher Höhe mit den Abflußröhren des venösen Blutes und des Öles im Nierenrezipienten stand. Je nachdem sich die Niere im Behälter P erweiterte oder zusammenzog, wurde Öl in das Probiergläschen getrieben oder davon in P angesaugt. Die hierdurch verursachten Bewegungen des Gläschens konnten in der aus Fig. 6 ersichtlichen Weise registriert werden.

In der Untersuchung von Salvioli (1880; 50) wurde noch die Menge des (aus dem isolierten Darm) herausfließenden Blutes dadurch registriert, daß die Tropfen auf die Glasplatte eines leichten doppelarmigen Hebels fielen; dieser beeinflußte einen Elektromagneten, und dessen Bewegungen zeichneten daher bei jedem fallenden Tropfen eine Marke auf den Registrierzylinder auf.

Ihre höchste Vollendung erreichten die in Ludwigs Laboratorium benutzten Versuchsanordnungen zur künstlichen Durchblutung isolierter Organe der Warmblüter durch den Apparat von v. Frey und Gruber (1885; 17), wo insbesondere die Vorrichtungen zur Arterialisierung des Blutes (die künstliche Lunge) und zur rhythmischen Speisung des Präparates hervorzuheben sind. Da dieser Apparat näher in Bd. II, Abt. 1, S. 42 von Bohr beschrieben worden ist, genügt es, hier darauf zu verweisen.

Bei dem zur Speisung der isolierten Niere von Bunge und Schmiedeberg (1876; 9) benutzten Apparat wurde Wasser direkt aus der Wasserleitung als Triebkraft benutzt: das Wasser floß in ein gewöhnliches Gasometer und komprimierte daselbst die Luft, deren Druck seinerseits auf das Blut im Blutreservoir übertragen wurde. Durch den Hahn der Wasserleitung konnte der Druck bequem und genau reguliert werden.

Um etwaige Luftblasen zu entfernen, waren im Verbindungsrohr zu der Niere zwei T-Rohre eingeschaltet, in deren vertikalen Schenkeln sich die Luftblasen sammelten und von Zeit zu Zeit durch Lüftung des Verschlusses fortgeschafft werden konnten.

v. Schröders (1882; 52) Versuchsanordnung stimmt mit dieser wesentlich überein, nur wurde eine besondere Vorrichtung zur Arterialisierung des Blutes benutzt. Das aus der Vene ausfließende Blut lief in eine etwa 2 l. fassende Woulffsche Flasche, die zwei Tubuli oben und einen am Boden besaß. In den einen oberen Tubulus war ein Scheidetrichter eingesetzt durch welchen das venöse Blut in die Flasche gelangte. Der andere obere Tubulus war durch ein Glasrohr mit dem Tubulus einer ebenso großen Woulffschen Flasche verbunden, deren zweiter oberer Tubulus offen blieb. In den am Boden befindlichen Tubulus der ersten Flasche waren zwei Röhren eingesetzt. In die eine konnte ein regulierbarer, von einem Wassergebläse gelieferter Luftstrom eingetrieben werden. Die andere Röhre stand durch einen Schlauch in Kommunikation mit dem Reservoir, aus dem das Blut in das Organ geleitet wurde. Letztere Kommunikation war durch eine Klemme geschlossen.

Das aus der Vene in die erste Woulffsche Flasche fließende Blut begegnete dem am Boden eintretenden Luftstrom und wurde sofort wieder arteriell. Durch den raschen, das Blut passierenden Luftstrom schäumte es oft recht stark. Der sich bildende Schaum trat durch das Glasrohr zum

Teil in die zweite Flasche über. Sollte das Blutreservoir, aus dem das Blut ins Organ geleitet wurde, wieder gefüllt werden, so wurden alle Verbindungen der beiden Woulffschen Flaschen nach außen geschlossen und die Schlauchverbindung nach dem Reservoir geöffnet. Durch den fortgehenden Luftstrom tritt sehr schnell in den Flaschen Überdruck ein, durch durch welchen das Blut durch die am Boden befindliche Schlauchverbindung ins Reservoir übertrat, um von hier aufs neue ins Organ geleitet zu werden. Die Zeit, während deren der durch das Organ fließende Strom zur Wiederfüllung der Reservoirs unterbrochen werden muß, war, dank dieser Anordnung, sehr kurz.

Auch der Apparat von Kobert (1886; 31, 56) stimmt mit demjenigen von Bunge und Schmiedeberg der Hauptsache nach überein; nur finden sich hier zwei nebeneinander gestellte Blutflaschen, die eine mit normalem, die andere mit vergiftetem Blute, aus welchen nach Belieben Blut in das Organ getrieben werden kann. Die Blutflaschen stehen in einer Wärmekammer, das Präparat befindet sich in einer anderen.

Eine wesentliche Schwierigkeit bei den Durchströmungsversuchen hat die Arterialisierung des einmal durch das Organ geströmten Blutes bereitet; durch Schütteln des venösen Blutes kommt man allerdings ohne Schwierigkeit zum Ziele, es tritt aber manchmal der Übelstand ein, daß bei der Wiederfüllung des Blutes die Durchleitung, sei es auch nur für einen Augenblick, unterbrochen werden muß. Man ist dabei, wie schon bei der Darstellung der Methodik von v. Frey-Gruber und von v. Schröder erwähnt wurde, bestrebt gewesen, die Arterialisierung so ausführen zu können, daß ar keine Unterbrechung des Blutstromes in Frage kommen kann.

Zu diesem Zwecke hat Jacobj (1890—1895; 27—29) die Lunge des Versuchstieres selber benutzt. In seiner definitiven Gestalt hat sein Apparat den folgenden Bau (vgl. Fig. 7).

Die Triebkraft stellen zwei von einer Wippe **A** abwechselnd zusammengepreßte Kautschukballons dar: der eine $\mathbf{a}_1$ repräsentiert das linke, der andere $\mathbf{a}_2$ das rechte Herz.

Bei der in der Figur abgebildeten Stellung des Hahnes **H** wird beim Aufhören des Druckes auf $\mathbf{a}_2$ das vom untersuchten Organ in $\mathbf{E}_1$ durch die Leitung $\mathbf{D}_1$-$\mathbf{l}_1$-**H** kommende Blut unter Vermittlung des Ventils $\mathbf{b}_3$ nach $\mathbf{a}_2$ angesaugt. Von hier wird es durch das Ventil $\mathbf{b}_4$ und die Heizspirale $\mathbf{B}_2$ nach der vom Körper ausgeschnittenen Lunge des Tieres, die sich im erwärmten Behälter $\mathbf{E}_2$ befindet, getrieben. Durch die Röhre **R** wird die Lunge künstlich ventiliert und also das durchströmende Blut arterialisiert.

Von der Lunge wird das Blut durch die Leitung $\mathbf{D}_2$-$\mathbf{l}_2$, den Hahn **H** und das Ventil $\mathbf{b}_2$ nach dem Ballon $\mathbf{a}_1$ angesogen, von dort durch eine Röhrenleitung, welche mit der soeben beschriebenen genau übereinstimmt, nach dem zu untersuchenden ausgeschnittenen Organ getrieben und strömt dann durch $\mathbf{D}_1$ usw. zurück zum Ballon $\mathbf{a}_2$.

An den Enden der Heizspiralen $\mathbf{B}_1$ und $\mathbf{B}_2$ finden sich die Blasenfänger, $\mathbf{d}_1$ und $\mathbf{d}_2$, welche in dem Blut befindliche Luftblasen zurückhalten.

Die Luft in den Behältern für die Lunge und das zu durchströmende Organ ist mit Wasserdampf gesättigt.

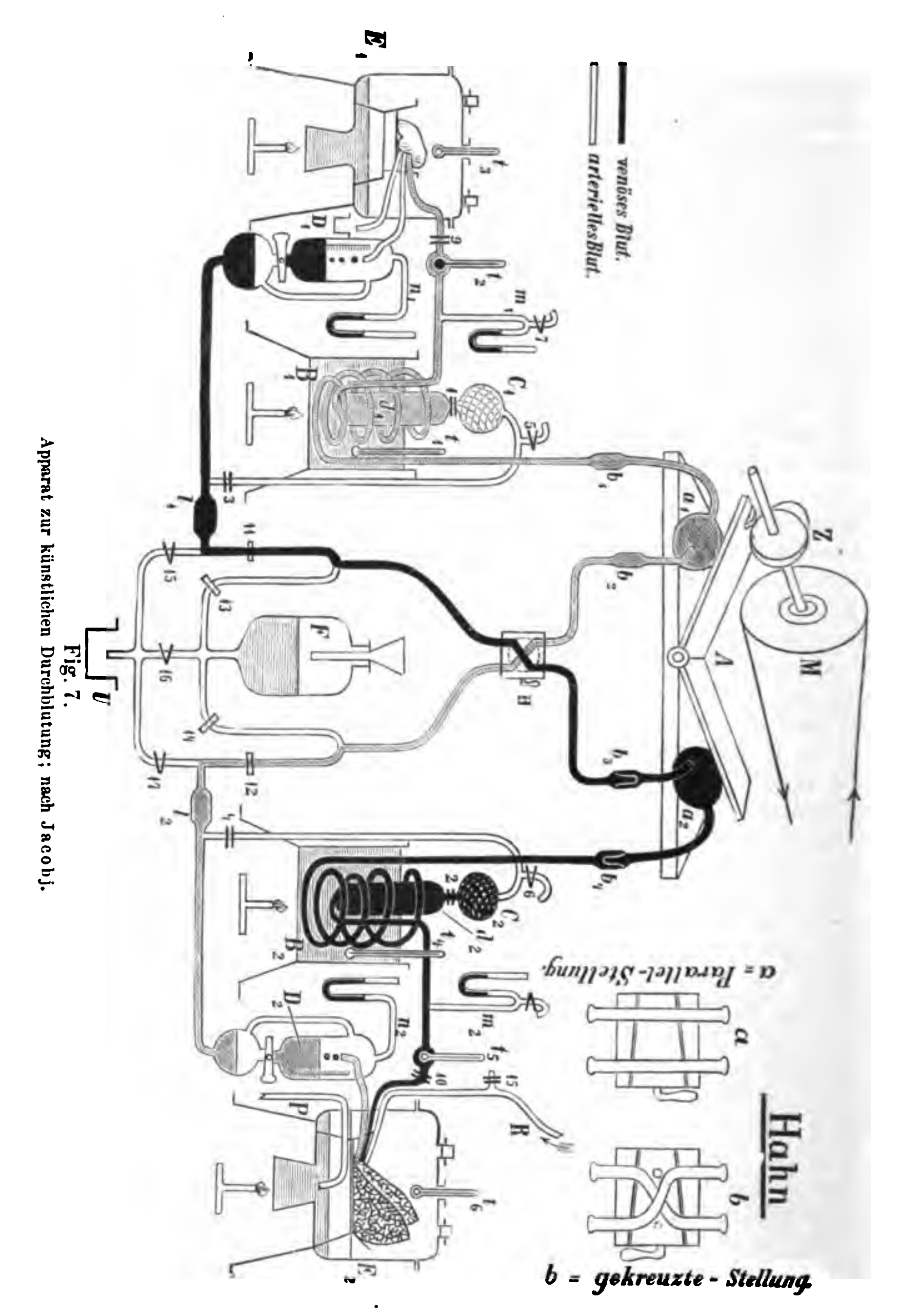


Fig. 7.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Jacobj.

Die Gefäße $\mathbf{D}_1$ und $\mathbf{D}_2$ dienen zur Messung der aus dem Organ bzw. der Lunge austretenden Blutmenge. Diese Meßzylinder gehen oben in ein zum Ansetzen des Manometers $\mathbf{n}_1$, $\mathbf{n}_2$ bestimmtes Rohr aus. Da durch das

Verbindungsrohr der Luftraum des Zylinders mit dem des unteren Gefäßes kommuniziert, so kann sich der Zylinder, wenn der an seinem unteren Ende befindliche Hahn geschlossen wird, füllen, ohne daß in ihm eine Druckdifferenz entsteht. Denn die Herzpumpe saugt immer so viel Blut aus dem unteren Teil ab, als oben in den Zylinder eintritt, die Luft aber weicht dementsprechend aus dem Zylinder durch das Verbindungsrohr nach unten aus. Ist die in den Meßzylinder eingeflossene Blutmenge und die dazu nötige Zeit gemessen, so läßt man durch die Öffnung des Hahns das Blut in das untere Gefäß abfließen, und die Messung kann von neuem beginnen.

Um eine Stauung des Blutes vor der Lunge bzw. dem Organ zu verhüten, dient je eine Nebenleitung, welche, von den Luftfängern d_1 und d_2 abzweigend und vor den Ventilen l_1 und l_2 mündend, durch Öffnen der Hähne 3 und 4 erlaubt, den Überschuß des herausgetriebenen Blutes unter Umgehung der Organe zum entsprechenden Ballon wieder zurückzuführen.

Die in diesen Nebenschließungen eingeschalteten Gummiballons C_1 und C_2 von 4 bis 5 cm Durchmesser dienen teils als elastische Faktoren im System, teils aber auch als Reservoire, welche ein zu plötzliches Ansteigen und Abfallen des Druckes in den Arterien der Organe verhüten sollen. Die Klemmen 1 und 2 ermöglichen ihre elastische Wirkung zu regulieren.

Bei der Füllung des Apparates wird das Blut in das Reservoir **F** hineingegossen, die in den Behältern E_1 und E_2 endenden Schläuche untereinander durch je ein Glasröhrchen verbunden und der Hahn **H** so gedreht, daß die Bohrungen parallel stehen (vgl. Fig. 7 **a**). Dadurch ist jede Abteilung des Apparates für sich isoliert und wird in genau derselben Weise behandelt. Ich werde daher nur die rechte Abteilung hier besprechen.

Die Klemmen 16, 4, 6, 8 und 12 sowie der Hahn am Meßgefäß D_2 werden geschlossen und dagegen die Klemmen 14, 2, 10 und 17 geöffnet. Wenn nun die Pumpen in Bewegung gesetzt werden, so saugt a_2 Blut aus dem Reservoir und treibt es wie oben beschrieben in die entsprechende Röhrenleitung ein. Als es bei 17 heraustritt, wird diese Klemme geschlossen und statt dessen 12 geöffnet, worauf das Blut zu zirkulieren beginnt. Jetzt wird die Klemme 10 so weit geschlossen, daß nur noch ein schwacher Strom hindurchtritt, wobei der Druck im Manometer m_2 ansteigt. Das im oberen Teil des Meßgefäßes D_2 befindliche Blut läßt man durch Öffnen des Hahnes in das kleine untere Reservoir eintreten, so daß dieses bei späteren Messungen sich nie ganz entleeren kann.

Ist der Druck an dem Manometer m_2 auf etwa 60 mm Hg gestiegen, schließt man 14 und läßt durch kurzes Öffnen der Klemme 8 das Blut in das Manometer eintreten. Nunmehr ist es leicht, alle Luft dem Luftfänger d_2 zuzutreiben, von wo aus sie durch C_2 aus der Klemme 6 entweichen kann. Durch Öffnen der Klemme 14 stellt man den Druck in der rechten Hälfte des Apparates auf etwa 20—30 mm Hg. In der linken Hälfte soll der Druck etwa 100—120 mm Hg betragen.

Dann werden die Lunge und das zu untersuchende Organ eingesetzt, und der Versuch kann beginnen. Dabei wird der Hahn **H** in die aus der Fig. 7, b ersichtlichen Stellung gebracht.

Die künstliche Ventilation der Lunge kann entweder durch einen Blaseblag oder durch wechselweise Herstellung eines negativen Druckes im Lungenbehälter zuwege gebracht werden.

Bei der früheren Konstruktion des Apparates wurde die Arterialisierung des Blutes in der Weise erreicht, daß es von der Herzpumpe in einen großen, zur Hälfte mit Luft gefüllten Behälter **B** (Fig. 8) getrieben wurde. Aus dem oberen Teil dieses Behälters führte ein Rohr Luft und Blutschaum in den mit Granatkörnern gefüllten Zylinder **F**.

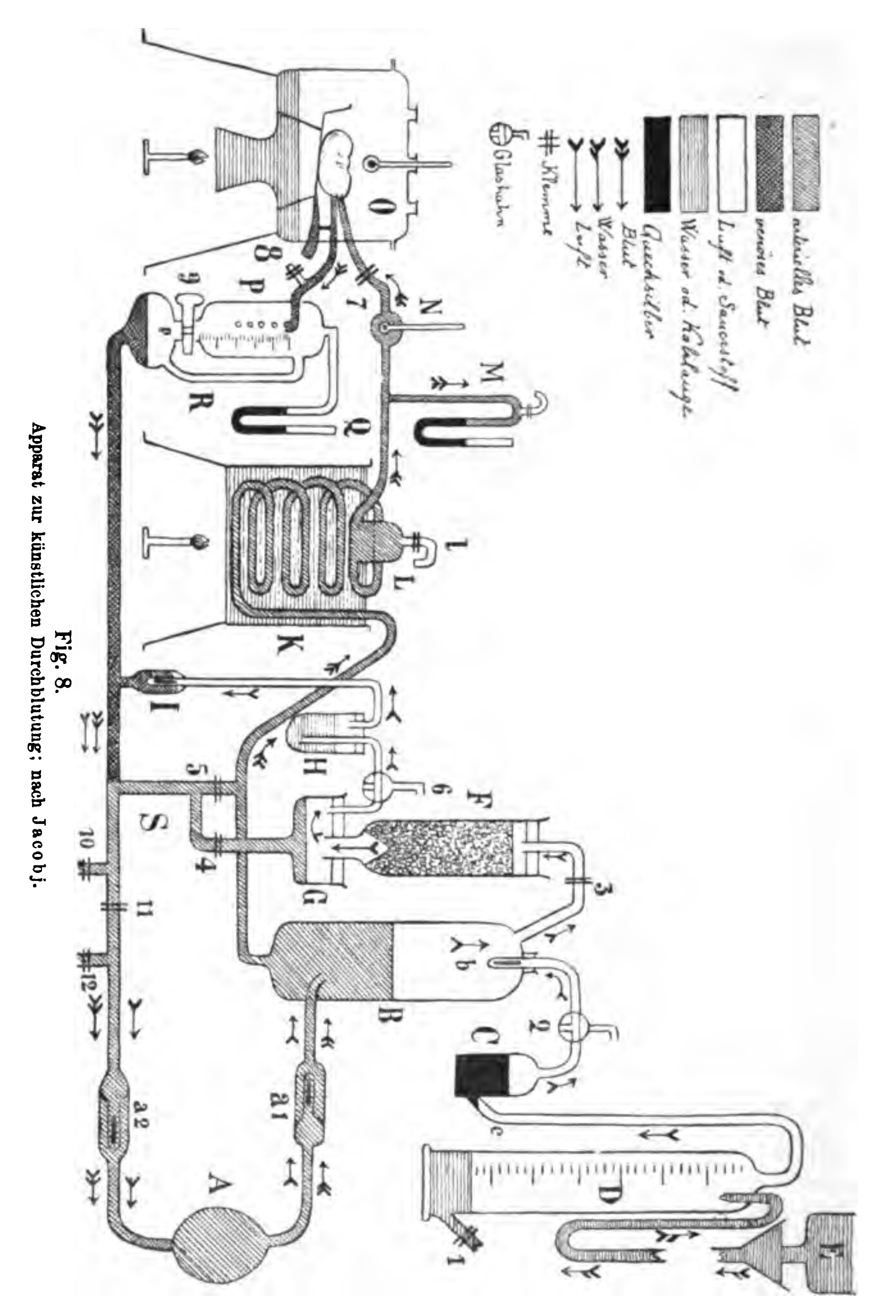


Fig. 8.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Jacobj.

Beim Durchtritt durch die Granatschicht wurden die Luftblasen zerrieben, und das Blut lief am unteren Teil des Gefäßes durch eine weite Öffnung in das Gefäß **G**, aus welchem es durch Öffnen der Klemme 4 in der gemeinsamen Leitung des arteriellen Systems hineinströmte. Die von Schaum freie Luft trat durch das mit Lauge beschickte Ventil **H** in die venöse Leitung ein. Der verbrauchte Sauerstoff wurde vom Gasometer **D** aus,

wo die Luft unter dem konstanten Druck einer Mariotteschen Flasche stand, kontinuierlich ersetzt und die Zufuhr durch das Hg-Ventil C reguliert.

In den Versuchen von Embden und Glaessner (1902; 14) floß das Blut abwechselnd aus zwei Scheidetrichtern durch eine Schlauchleitung und eine Heizspirale zum Organ. Der Druck wurde durch ein Wassertrommelgebläse hergestellt, dessen Druckleitung in die obere Öffnung des jeweils in Tätigkeit befindlichen Scheidetrichters einmündete. In die Druckluftleitung war eine kleine Waschflasche eingeschaltet, die bis zur Höhe von etwa 6 cm

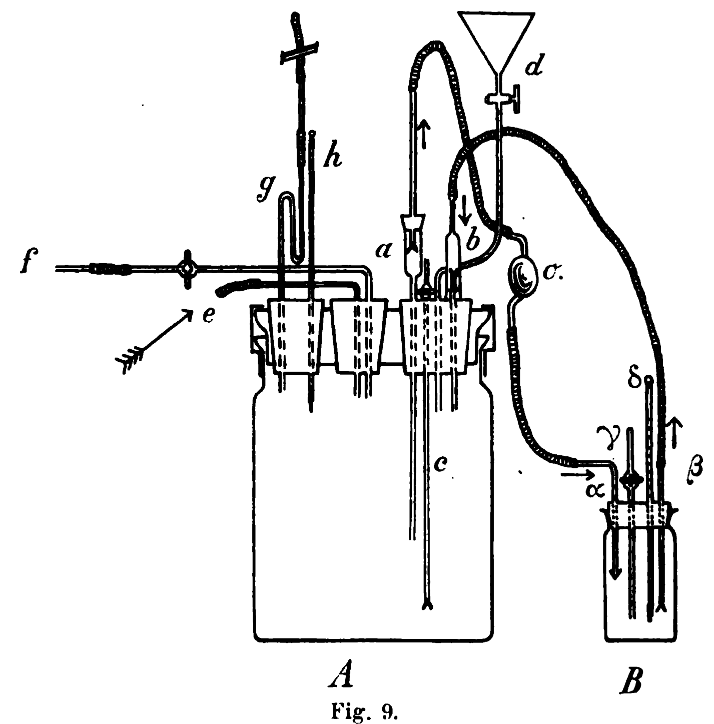


Fig. 9.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Freund.

mit Quecksilber gefüllt war. Die Druckluft passierte diesen Widerstand in einigermaßen gleichmäßigen Zeitabständen, und jede durchtretende Luftblase rief eine nicht ganz geringe Blutdruckschwankung hervor.

Das aus dem Organe strömende venöse Blut floß durch einen Gummischlauch in die Mündung eines Trichters, dessen langes Rohr durch die eine Bohrung eines doppelt perforierten Gummistopfens bis auf den Boden einer Flasche reichte. In den anderen Bohrungen des Gummistopfens steckte eine nur bis in die Hälfte der Flasche reichende Gummiröhre, die unter Zwischenschaltung einer Sicherheitsflasche mit dem saugenden Hahn des Wassertrommelgebläses verbunden war. Die neben dem einströmenden Blut durch die Trichterröhre gesaugte Luft mußte das in der Flasche sich ansammelnde Blut passieren und bewirkte sehr rasch eine ausgiebige Arterialisierung des Blutes.

Der dabei sich reichlich bildende Schaum stieg fast immer in die vorgelegte Sicherheitsflasche über, wo er durch die ihn zuführende Röhre gegen den oberen Teil der Flaschenwand geleitet wurde und sich rasch wieder verdichtete.

Noch während der eine Scheidetrichter in Tätigkeit war, wurde das Blut aus der Arterialisierungsflasche in den jeweils unbenutzten zweiten Scheidetrichter übergefüllt und dieser in Anspruch genommen, sobald der erste Scheidetrichter nahezu ausgeleert war. Dies geschah einfach durch Drehen eines Hahnes, und die Durchblutung erlitt so kaum eine Unterbrechung.

Bei dem in Fig. 9 abgebildeten Apparat von Freund (1902; s. Kraus, 33) ist das gut verschlossene Gefäß **A** durch die Leitung **e** mit einer Druck- und Saugpumpe verbunden. Die Röhre **f** ist mit einem Glashahn abgesperrt und an seinem äußeren Ende mit einem, sich bei Druck nach außen öffnenden Ventil verbunden.

Die im Gefäß **A** eingeschlossene Flüssigkeit wird mittels der Pumpe durch die Röhre **a** zu dem Organ **O** getrieben; das Ventil verhindert jede Rückströmung. Vom Organ fließt die Flüssigkeit durch α in die Flasche **B** und wird von dort durch die von der Pumpe ausgeübte Ansaugung durch β und dem Ventil **b** zurück nach **A** gesogen.

Die Röhre **c**, die unten mit einem Ventil versehen ist, das sich nur nach unten öffnet, ist mit einem Sauerstoffbehälter verbunden. Durch den Trichter **D** werden der Flüssigkeit während des Versuches gewünschte Substanzen zugeführt.

Im Gefäß **B** mündet ein mit einem sich nach unten öffnenden Ventil versehenes Rohr γ, durch welches während der Saugwirkung atmosphärische Luft eintritt. Dadurch wird das Blut schon vor dem Eintritt in den großen Behälter **A** arterialisiert.

Brodie (1903; 6) stellte sich die Aufgabe, die Versuche an überlebenden Organen mit möglichst wenig Blut durchzuführen und also, wenn möglich, mit dem eigenen Blut des Tieres auszukommen. Sein hierzu benutzter Apparat ist folgendermaßen gebaut (Fig. 10).

Eine Pumpe **D** treibt das Blut in ein Glasgefäß **H**, von dessen unterem Ende eine Leitung zu der Arterie des zu untersuchenden Organs geht, **K**. Die mit der Vene verbundene Leitung mündet bei **B** in das Glasgefäß **A** ein. Eine zweite am Boden dieses Gefäßes befindliche Öffnung **c** steht mit der Pumpe **D** in Verbindung.

Die Pumpe ist mit Zylindern und Kolben von verschiedenem Querschnitt versehen, und auch der Umfang des Schlages kann variiert werden so daß die Blutmenge je nach der Größe des Organs abgepaßt werden kann. Damit die Blutkörperchen möglichst wenig beschädigt werden sollen sind alle Teile der Pumpe aus Glas oder Gummi verfertigt.

Durch gut schließende Klappen wird der richtige Gang der Blutströmung gesichert.

Das obere Ende von **H** ist mit einem Kork verschlossen; durch diesen geht ein Glasrohr, das mittels eines Schlauches mit dem Kolben **M** verbunden ist. Dieser steht seinerseits teils mit dem Hg-Manometer **R**, teils mit dem Hg-Ventil **P** in Verbindung.

Die beiden Behälter und die Pumpe sind in einem Warmbad von Körpertemperatur eingeschlossen.

Nachdem der Apparat durch Pumpen von physiologischer Kochsalzlösung gereinigt worden ist, werden die Rohre **B** und **K** geschlossen, das Tier narkotisiert und die Arterie und Vene des zu untersuchenden Organs präpariert. Dann wird das Tier zum Tode entblutet, das Blut geschlagen und filtriert sowie in den Behälter **A** eingegossen, und davon sofort in **H** gepumpt. Das Pumpen wird so lange fortgesetzt, bis Luftblasen aus dem auf einen zweck-

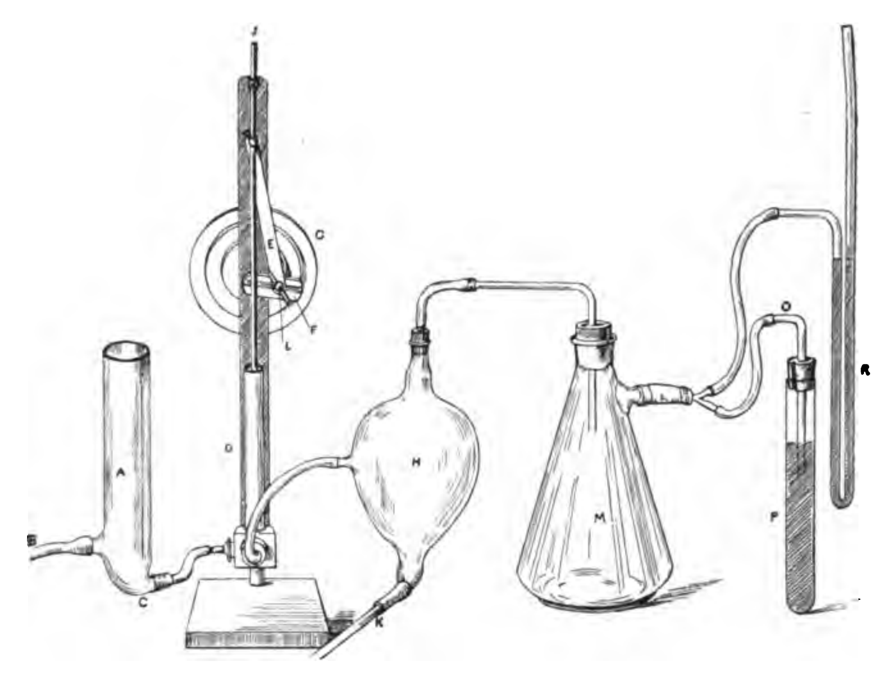


Fig. 10.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Brodie.

mäßigen Druck einzustellenden Ventil **P** ausweichen. Jetzt wird die Arterie des Organs mit **K** verbunden. Die erste Blutmenge, die aus der Vene strömt, wird in ein Glas aufgefangen, geschlagen, filtriert und dann in **A** gegossen: erst dann wird die Vene mit **B** verbunden. Die Pumpe geht nun ununterbrochen, so daß das Blut kontinuierlich aus **A** in **H** getrieben wird. Der Gang der Pumpe wird so geregelt, daß immer genügend Luft vorhanden ist, um das Blut zu arterialisieren. Die überschüssige Luft entweicht durch **M** und **P**. Die Aufgabe des Gefäßes **M** besteht darin, den Schaum aufzufangen, so daß er nicht durch **P** entweichen mag.

Wenn die Röhre **K** durch einen dünnwandigen Schlauch ersetzt wird und dieser durch eine kleine hölzerne Klemme partiell verengt und durch ein Exzenter rhythmisch geöffnet wird, kann man die pulsatorischen Schwankungen der arteriellen Zufuhr leicht nachahmen.

Der schädlichen Einwirkung von Luftbläschen beugt **Brodie** dadurch vor, daß er in der arteriellen Leitung ein T-Rohr mit dem unpaarigen Schenkel nach oben einschaltet.

Um feste Partikelchen zu entfernen, bringt **Brodie** Filter aus Glaswolle teils in dem Gefäß, das das Blut von der Vene empfängt, teils in dem Rohr, das zur Arterie führt, an

Ödeme werden am besten dadurch vermieden, daß das Organ nie eine längere Zeit ohne Blutzufuhr gehalten wird.

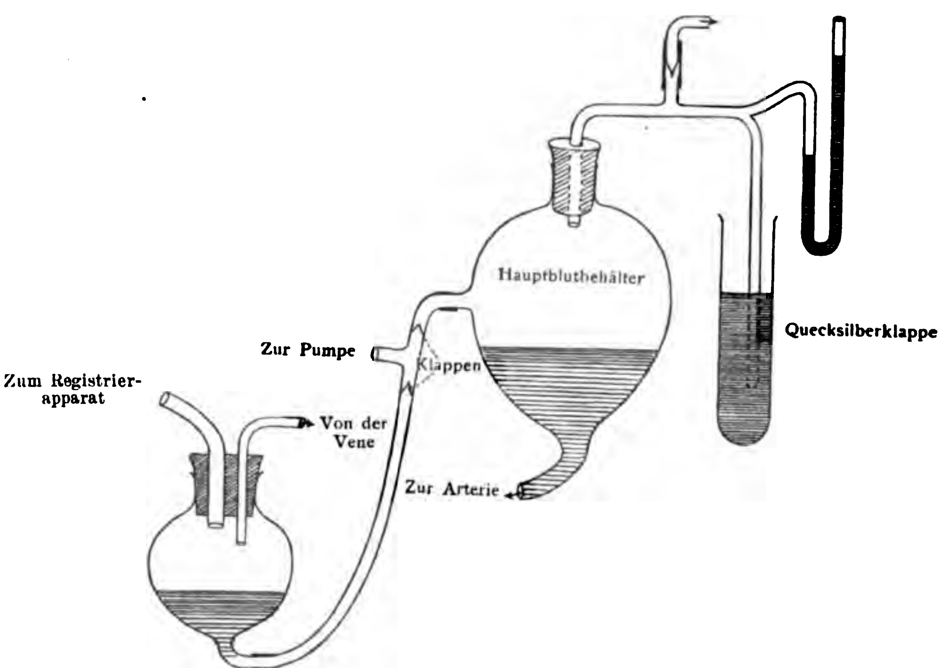


Fig. 11.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach **Brodie**.

Wo in der Zeiteinheit eine große Blutmenge das Organ passiert, wie bei der Leber, genügt es, das Blut im Gefäß **H** zu erwärmen und das Organ einfach durch Umhüllen mit warmer Baumwolle vor Abkühlung zu schützen. Bei langsamerer Blutströmung muß das Organ dagegen in eine warme Kammer plaziert werden. Bei der Milz und dem Herzen wird das ganze Organ in physiologische Kochsalzlösung von Körpertemperatur gesenkt. Die Nieren und andere Organe wie die Extremitäten, bei welchen das Blut nicht durch eine einzige Vene, sondern auch von der Oberfläche strömt, muß man in einen besonderen Behälter aus Glas halten. In manchen Fällen empfiehlt es sich endlich, das Organ in situ im Körper liegen zu lassen.

Im folgenden Jahre (1904; 7) wurden folgende Veränderungen an diesem Apparate vorgenommen (Fig. 11). Die Druckkraft lieferte jetzt eine Bombe mit verdickter Luft, die mit einem großen Behälter verbunden war. In einem kleineren Behälter strömte das Blut von der Vene hinein; die dadurch bewirkten Volumenveränderungen wurden mittels des Bellow-Recorders von

Brodie registriert. Aus dem kleinen Behälter wurde das Blut durch die Pumpe angesaugt und in den großen getrieben. In letzterem wurde daher der Druck periodisch erhöht, und die Blutströmung fand daher stoßweise statt.

Die Konstruktion der Pumpe ist aus Fig. 12 ersichtlich. Der Stab **d** wird mittels des verstellbaren Exzenters in vertikale Bewegung versetzt. Wenn **d** nach oben gezogen wird, zieht er, wie aus der Figur ersichtlich, das Zwischenstück **A** und damit auch den Spritzenkolben nach oben. Bei seiner Bewegung nach unten, stößt **d** gegen **e** und treibt dabei den Spritzenkolben nach unten. Durch Verstellung der Schraube **e** läßt sich der Kolbenschlag sehr fein regulieren. Die Spritze selbst ist eine gewöhnliche Spritze für subkutane Injektion. Jede Periode der Spritzenbewegung macht sich an der Kurve durch eine entsprechende Zacke kenntlich. Ist die venöse Strömung gleich groß wie die durch die Pumpe bewirkte Ansaugung, so bewegen sich diese Zacken um eine und dieselbe horizontale Linie. Wird die venöse Strömung infolge von einer Gefäßkontraktion verlangsamt, so sinkt die Gesamtkurve herab und steigt im entgegengesetzten Falle an. Bei still stehender Pumpe steigt die Kurve natürlich ununterbrochen in die Höhe. Diese Methode ist also für das Studium der Gefäßinnervation an ausgeschnittenen Organen sehr zweckmäßig.

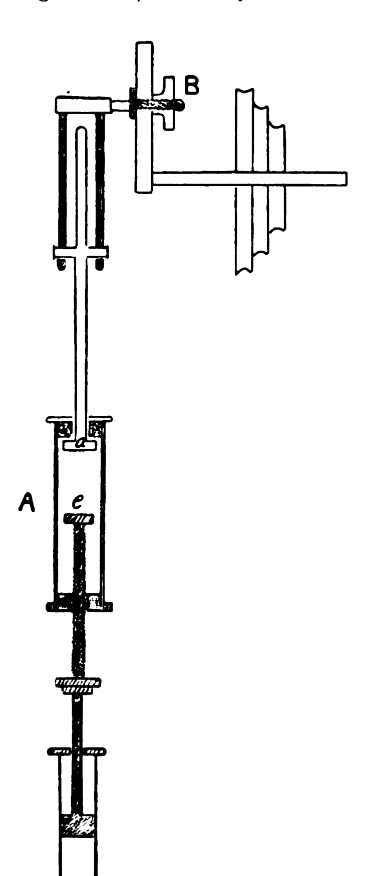
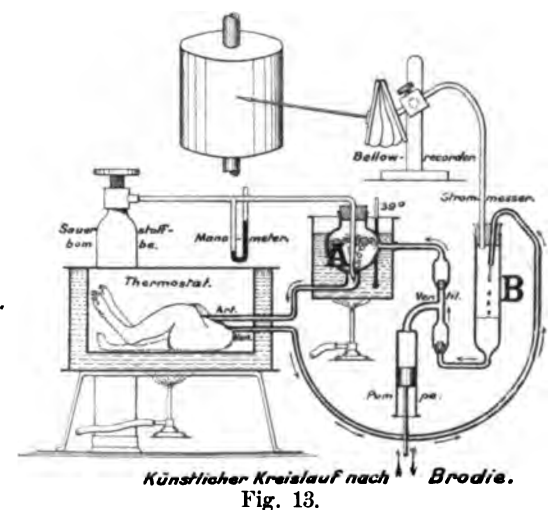


Fig. 12.
Pumpe nach Brodie.



Künstlicher Kreislauf nach Brodie.
Fig. 13.

Fig. 13 zeigt die Gesamtanordnung des Apparates bei Durchströmung der hinteren Extremitäten (8).

Wenn der venöse Blutstrom so groß ist, daß die Pumpe ihn nicht bewältigen kann, wird in die vom venösen Behälter zur Pumpe führenden Leitung ein T-Stück eingesetzt, aus dessen unpaarigem Schenkel Blut beim Bedarf entleert werden kann. Durch das T-Stück kann auch Blut in das System hineingegossen werden.

Um verschiedene Gifte in den Kreislauf einzuführen, bringt Brodie (7)

die in der Fig. 14 dargestellte Vorrichtung in die Leitung von dem großen Behälter zum Organ. Der ganze Apparat ist mit Blut gefüllt, auf der einen Seite aber, z. B. bei **x** und **y**, sind Klemmen angebracht. Wenn ein Gift injiziert werden soll, wird es in **D** hineingeführt und der Strom dann durch **x**, **y** statt wie früher durch **z** geleitet.

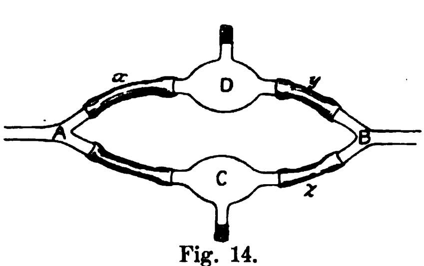


Fig. 14.
Vorrichtung zum Einbringen von Giften bei der künstlichen Durchblutung; nach Brodie.

Wie Jacobj benutzten auch Embley und C. J. Martin (15) zum Zwecke der Arterialisierung des Blutes einen doppelten Kreislauf, bei welchem der Gaswechsel durch künstliche Ventilation der Lunge zuwegegebracht wurde. Die linke und die rechte Herzhälfte werden (Fig. 15) durch je einen Gummiballon vertreten, auf welche durch ein Exzenter ein periodischer Druck ausgeübt wird (**L**, **R**). In jeden Ballon münden zwei Röhren ein, in denen die richtige Stromrichtung durch

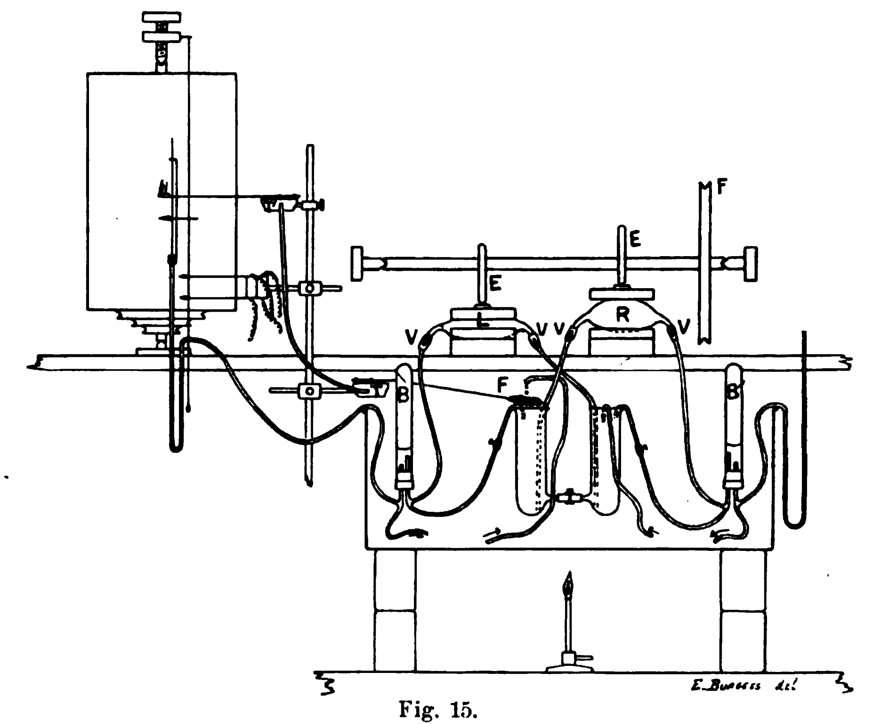


Fig. 15.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Embley und C. J. Martin.

Ventile gesichert ist. Beide Kreislaufe sind identisch angeordnet, weshalb die Beschreibung des einen hier genügt. Von dem Ballon **L** geht links in der Figur ein Schlauch zum Gefäß **B**, das zum Teil mit Luft gefüllt ist und also als ein elastischer Faktor im Systeme wirkt. Von diesem Gefäß

geht ein zweiter Schlauch aus, der teils mit dem Manometer, teils mit dem zu durchblutenden Organ verbunden ist.

Der Schlauch, in welchem das Blut aus **L** herausgetrieben wird, steht

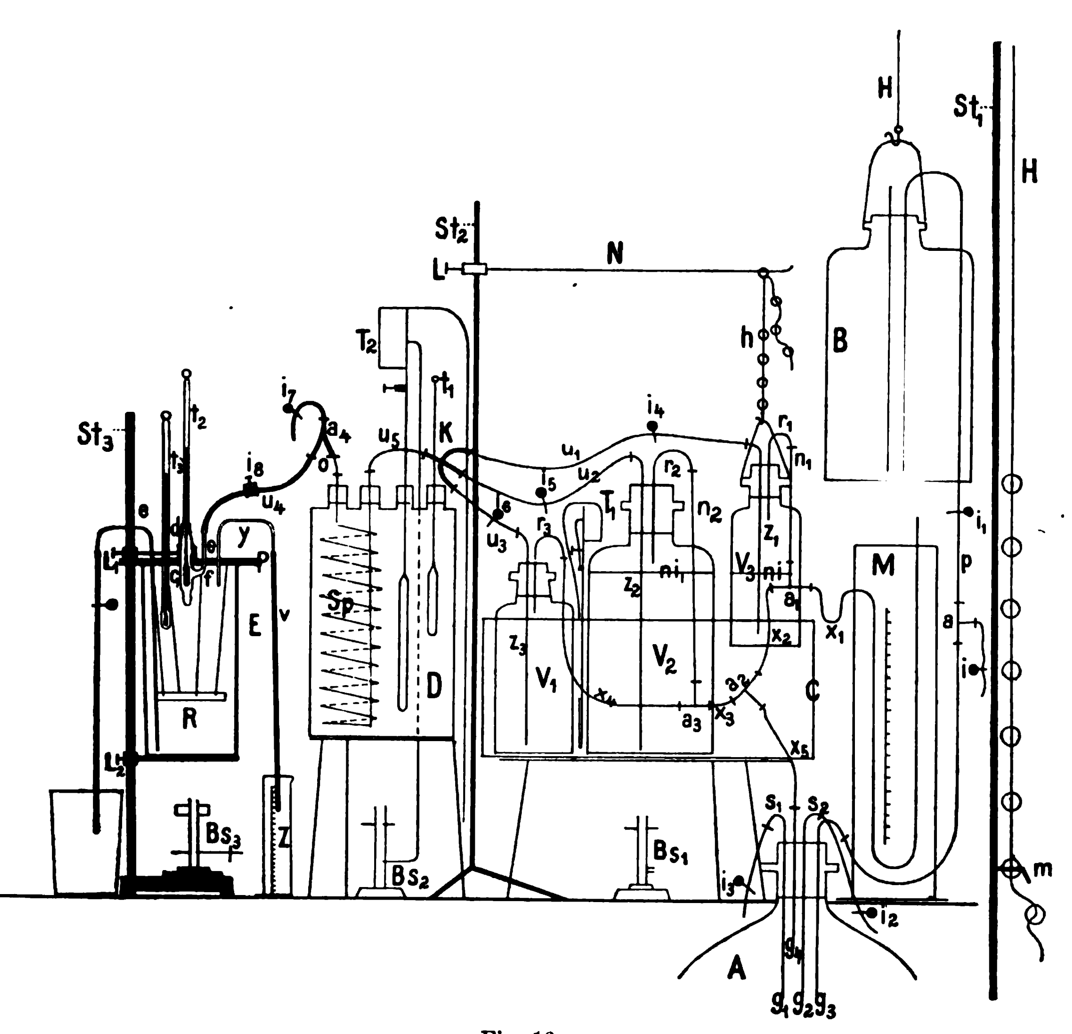


Fig. 16.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Skutul.

seinerseits mit dem Gefäß **x** in Verbindung, und in diesem Gefäß mündet auch die venöse Leitung vom durchbluteten Organ ein.

Von diesem Gefäß wird das Blut in den rechten Ballon **R** gesogen und in den Lungenkreislauf getrieben. Das hier zirkulierende Blut wird in das Gefäß **y** getrieben. Die Gefäße **x** und **y** stehen am Boden untereinander in Verbindung: das arterielle und das venöse Blut können sich also hier untereinander mischen. Das aus den Lungen strömende Blut über-

trifft aber an Menge immer das aus dem Organ kommende venöse Blut, wodurch also Störungen durch unvollkommenen Gaswechsel vorgebeugt sind.

Das Ganze ist in einem Wasserbehälter eingeschlossen.

Der Hebel **F** dient unter Vermittlung zweier Luftkapseln als Tropfenzähler.

Skutul (1908; 53) hat, speziell für Untersuchungen an der überlebenden Niere, folgenden Apparat gebaut (vgl. Fig. 16).

Der Sauerstoffballon **A** ist hermetisch geschlossen durch einen vierfach durchbohrten Gummistopfen; letzterer trägt vier umgebogene Glasröhren, von denen drei lange, g_1, g_2, g_3 bis zum Boden des Ballons reichen; die vierte g_4 endet nicht weit unter dem Stopfen.

Das Glasrohr g_1 ist durch den Gummischlauch s_1 mit der Wasserleitung verbunden; durch g_2 wird mittels des Schlauches s_2 der Ballon mit Sauerstoff gefüllt; g_3 ist durch den Schlauch **p** mit der Mariotteschen Flasche **B** verbunden, und g_4 steht durch den Gummischlauch x_5 mit den im Wasserbade **C** befindlichen Flaschen in Verbindung.

Alle diese Schläuche können durch Klemmen abgesperrt werden (i_1, i_2, i_3).

Den Druck gibt die Mariottesche Flasche **B** von 10—12 Liter Inhalt, die höher oder niedriger gestellt werden kann.

Das Wasserbad **C** enthält die Flüssigkeitsflaschen V_1, V_2, V_3, von denen die größte für die normale, Lockesche Lösung, die übrigen für gifthaltige Lösungen bestimmt sind. Die Flaschen können am Stativ St_2 höher oder niedriger gehalten werden.

Die Flaschen werden mit der Durchströmungsflüssigkeit gefüllt und diese aus einem Gasometer mit Sauerstoff gesättigt. Dann werden sie luftdicht verschlossen. Der Sauerstoffballon **A** wird unter Vermittlung des Gummischlauches x^5 mit dem Flaschensysteme vereinigt ($a_2\, x_3\, r_2$, $a_2\, x_4\, f_3$, $a_2\, x_2\, a_1\, r_1$). Die Gummischläuche **p** und s_1 werden geschlossen, desgleichen u_1, u_2 und u_3.

Jetzt wird der Schlauch s_2 mit dem Gasometer verbunden und der Ballon mit Sauerstoff bis zu einem Druck von 40—50 mm Hg gefüllt und dann der Schlauch s_2 wieder geschlossen. Die Verbindung mit der Wasserleitung durch den Schlauch s_1 wird hergestellt und man läßt Wasser so lange in den Ballon einfließen, bis der Druck im Systeme etwa 80 mm Hg erreicht hat. Die mit Wasser gefüllte Mariottesche Flasche **B** wird auf die entsprechende Höhe nach oben gezogen und die Verbindung derselben mit dem Sauerstoffballon, durch Lüften der Klemme i_1 hergestellt. Dabei darf im Schlauche **p** keine Luft vorhanden sein; wenn Luft da ist, wird sie durch Öffnen der Klemme **i** aus dem Schlauche entfernt.

Der Druck in der Mariotteschen Flasche wirkt nun auf das Gas im Sauerstoffballon, und dieses drückt die in den Flaschen befindliche, mit Sauerstoff gesättigte Flüssigkeit nach vorwärts. Dabei treibt der Flüssigkeitsstrom die in der Leitung vorhandenen Luftbläschen vorwärts; diese können dann durch Lüften des Verschlusses bei i^7 entfernt werden.

Von den Flaschen strömt die Flüssigkeit durch das in einem Wasserbad **D** eingeschlossene Schlangenrohr, wo sie weiter erwärmt wird, und durch

den Schlauch **o**—$\mathbf{u_4}$ nach der feuchten, oben durch den Deckel **P** geschlossenen Kammer **E**.

Dort wird die Röhre $\mathbf{c_1}$ mit der Arterie des zu untersuchenden Organs verbunden; in dieser Röhre steckt ein Thermometer, das also die Temperatur der Flüssigkeit gerade vor ihrem Eintritt in das Organ angibt. Die Glasröhre **y** wird mit der Venenkanüle verbunden und dient zur Ab-

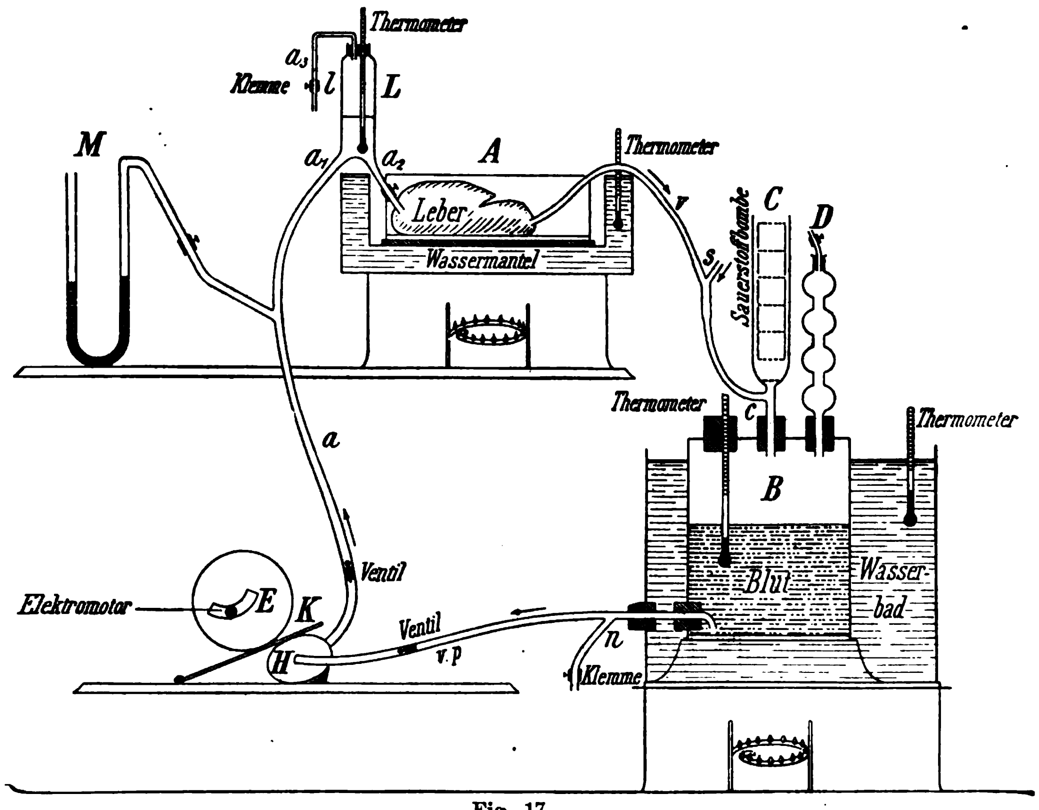


Fig. 17.
Apparat zur künstlichen Durchblutung; nach Neubauer und Gross.

fuhr der durchgeströmten Flüssigkeit. Die Glasplatte **R**, die an vier Fäden in der feuchten Kammer hineinhängt und höher oder tiefer gestellt werden kann, dient zum Stützen des Organs. Das Rohr **e** soll die sich in der feuchten Kammer angesammelte Flüssigkeit nach außen ableiten.

Im Apparat von Neubauer und Gross (1910; 46) bewirkt das rhytmische Zusammenpressen eines Gummiballons (**H**, Fig. 17) die Blutströmung. Unter Beihilfe eines Ventils saugt der Ballon das Blut aus dem in einem Gefäß mit warmem Wasser eingeschlossenen Behälter **B** und treibt es dann durch den Schlauch **a** zum Gefäß **L**, das zum Auffangen von eingedrungenen Luftblasen dient, und dann weiter zu dem zu untersuchenden Organ, das in einer in einem Thermostaten befindlichen Glasschale **A** liegt.

Vom Organ strömt das Blut durch den Schlauch **S** zum Blutbehälter **B** wieder zurück. Kurz vorher mündet in den Schlauch die Röhre von der Sauerstoffbombe. Mit dem Behälter **B** stehen die zwei Luftfänger **C** und **D** in Verbindung. **C** besteht aus einer etwa 35 cm langen, 5 cm weiten Glasröhre, in welcher mehrere siebartig durchbrochene Porzellanplatten (als „Filtrierplatten nach Witt" käuflich) durch kurze Glasröhrenstücke übereinander aufgestellt sind. Die durch die Mischung mit dem Sauerstoff entstandenen Schaumblasen steigen durch die Porzellanplatten des Schaumfängers, die zweckmäßig mit etwas flüssigem Paraffin eingefettet sind, in die Höhe und werden so gebrochen. Der zweite Schaumfänger dient als Hilfe, wenn der erste bei reichlichem Zuströmen von Sauerstoff nicht genügt.

In der letzten Zeit hat Cohnheim (1910; 13) nach dem Vorbilde des Respirationsapparates von Atwater und Benedict (s. dieses Handbuch Bd. I, Abt. 3, S. 104) einen Apparat zum Studium des Gaswechsels im überlebenden Darme und in anderen Organen gebaut. Es kreist hier in einem geschlossenen System eine Luftmenge, aus dem die Kohlensäure durch Natronkalk weggenommen wird. Die Verminderung des Gasvolumens, die auf dem Sauerstoffverbrauch beruht, wird durch ein Manometer gemessen, und am Schluß des Versuches wird aus einer kleinen Sauerstoffbombe soviel Sauerstoff hinzugefügt, daß das Manometer wieder den ursprünglichen Stand hat. Die Kohlensäureproduktion wird durch die Gewichtszunahme des Natronkalkbehälters, der Sauerstoffverbrauch durch die Gewichtsabnahme der Sauerstoffbombe erhalten.

In Einzelheiten gestaltet sich dieser Apparat folgendermaßen. Die Triebkraft für den Apparat wird durch einen Gummiballon gebildet, der durch eine mit einem Exzenter verbundene Holzplatte rhythmisch zusammengedrückt wird. Von diesem Ballon wird die Luft unter Vermittlung eines gut schließenden Ventils in das Gefäß, wo sich das Organ befindet, hineingetrieben. In den Versuchen mit dem Darm und dem Magen schwamm das Organ in Ringerscher Lösung, und die Anordnung war so, daß während des Versuches das Gas durch diese hindurchströmte. In anderen Fällen wurde die Luft direkt in die A. mesenterica superior getrieben; die Venen des Darmes waren offen, und der Sauerstoff nahm seinen Weg durch die Blutgefäße des Darmes in die Ringersche Lösung.

Von dem Gefäß mit der Lösung ging die Luft zunächst durch einen Chlorkalziumturm und dann durch zwei Waschflaschen mit konzentrierter Schwefelsäure, um so vollständig getrocknet zu werden. Davon ging die Luft durch zwei miteinander verbundene U-Röhren, deren erste mit feuchtem Kalikalk, die zweite mit Bimsstein und konzentrierter Schwefelsäure gefüllt war. Im Anschluß an Atwater und Benedict empfiehlt Cohnheim sehr den feuchten Kali- oder Natronkalk zur Absorption der Kohlensäure (man löst 100 g KHO in 45 bis 60, bzw. 35 bis 40 g Wasser und fügt 100 g ungelöschten Kalk hinzu).

Von den genannten beiden Röhren geht der Luftstrom noch einmal durch Schwefelsäure, dann durch eine Flasche mit Wasser und von hier durch ein Ventil zum Ballon zurück.

Vor dem Ventil sind in der Leitung zwei seitliche Öffnungen angebracht, von denen die eine mit dem Wassermanometer, die andere mit der

Sauerstoffbombe in Verbindung steht. Die Sauerstoffbombe hält einen Druck von $2^1/_2$ Atm. aus und wiegt nur 218 g.

Vor dem Versuch muß der Apparat mit Sauerstoff gefüllt werden, da die Durchleitung von Luft durch die Ringersche Lösung nicht hinreicht, um den Darm oder den Magen genügend mit Sauerstoff zu versorgen. Alsdann läßt man den Apparat eine Zeitlang leerlaufen, wobei die in der Ringerschen Lösung absorbierte Kohlensäure ausgetrieben und von dem Kalikalk aufgenommen wird. Dann werden die Bombe und die Kalikalk-Schwefelsäureröhren gewogen, und das Organ kommt in das Gefäß.

Vgl. noch die Apparate von J. Munk (1887; 45), Kurdinowsky (1904; 34), Sakusow (1904; 49), Hatcher und Wolf (1907; 24).

Literatur.

1) Asp, G., Zur Anatomie und Physiologie der Leber. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss.. math.-phys. Kl., 1873, S. 495—499.

2) Bernstein, J., Versuche zur Innervation der Blutgefäße. Arch. f. d. ges. Physiol., 15, S. 592—593; 1877.

3) Bidder, E., Beiträge zur Lehre von der Funktion der Nieren. Inaug.-Diss. Dorpat 1862.

4) Bottazzi, F., Ein Warmblüter-Nervenmuskelpräparat. Zentralbl. f. Physiol., 21, S. 171—179; 1907.

5) Brandenburg, E., Die Wirkung des lackfarbenen Blutes auf das isolierte Froschherz. Arch. f. d. ges. Physiol., 95, S. 625—639; 1903.

6) Brodie, T. G., The perfusion of surviving organs. Journ. of physiol., 29, S. 266—275; 1903.

7) — — On the innervation of the pulmonary vessels. Ebenda, 30, S. 476—502; 1904.

8) — — R. du Bois-Reymond und F. Müller, Der Einfluß der Viskosität auf die Blutströmung und das Poiseuillesche Gesetz. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1907, Suppl. S. 41.

9) Bunge, G. und O. Schmiedeberg, Über die Bildung der Hippursäure. Arch. f. exp. Pathol., 6, S. 245—246; 1876.

10) Carrel A., und C. C. Guthrie, Science, N. S. 22, S. 473; 1905.

11) — — Succesful transplantation of both kidneys from a dog into a bitch with removal of both normal kidneys from the latter. Science N. S. 23, S. 394—395; 1906.

12) Cohnheim, O., Die Arbeit der Darmmuskeln. Zeitschr. f. physiol. Chemie, 54, S. 468; 1908.

13) — — Ein Respirationsapparat für isolierte Organe und kleine Tiere. Ebenda, 69, S. 89—95; 1910.

14) Embden, G., und K. Glaessner, Über den Ort der Ätherschwefelsäurebildung im Tierkörper. Beitr. z. chem. Physiol., 1, S. 313, 314; 1902.

15) Embley, E. H., und C. J. Martin, The action of anaesthetic quantities of chloroform upon the blood vessels of the bowel and kidney. Journ. of physiol., 32, S. 147—158; 1905.

16) Fredericq, L., Sur la circulation céphalique croisée, ou échange de sang carotidien entre deux animaux. Travaux du laboratoire, 3, S. 1—4; 1890.

17) v. Frey, M., und M. Gruber, Ein Respirationsapparat für isolierte Organe. Archiv f. (Anat. u.) Physiol., 1885, S. 519—532.

18) v. Frey, M., Versuche über den Stoffwechsel des Muskels. Ebenda, 1885. S. 533—562.

19) Grube, K., Weitere Untersuchungen über Glykosebildung in der überlebenden, künstlich durchströmten Leber. Arch. f. d. ges. Physiol., 107, S. 490—496; 1905.

20) Guthrie, C. C., F. H. Pike, G. N. Stewart, The maintenance of cerebral activity in mammals by artificial circulation. Amer. journ. of physiol. 17, S. 344—349; 1906.

21) Guthrie, C. C., Survival of engrafted tissues. Journ. of the Amer. Med. Assoc. 54, S. 831—834; 1910.

22) — — The effect on the kidney of temporary anaemia, alone and accompanied by perfusion. Arch. of intern. med., 5, S. 232—245; 1910.

23) Hamel, G., Die Bedeutung des Pulses für den Blutstrom. Zeitschr. f. Biol., 25, S. 474—495; 1889.

24) Hatcher, R. A., und C. G. L. Wolf, The formation of glykogen in muscle. Journ. of biol. chemistry, 3, S. 28—30; 1907.

25) Hédon, E., und C. Fleig, Action des sérums artificiels et du sérum sanguin sur le fonctionnement des organes isolés des mammiféres. Arch. intern. de physiol., 3. S. 95—126; 1905.

26) Hekman, J. J., Influence exercée par la teneur en CO_2 du sang sur la quantité et la concentration osmotique de l'urine secretée. Ebenda, 3, S. 357—380; 1906.

27) Jacobj, C., Apparat zur Durchblutung isolierter überlebender Organe. Arch. f. exp. Pathol., 26, S. 388—400; 1890.

28) — — Ein Beitrag zur Technik der künstlichen Durchströmung überlebender Organe. Ebenda, 36, S. 330—348; 1895.

29) Jacobj, C., und W. v. Sobieranski, Über das Funktionsvermögen der künsth durchbluteten Niere. Ebenda, 29, S. 25—40; 1891.

30) Kehrer, E., Physiologische und pharmakologische Untersuchungen an den überlebenden und lebenden inneren Genitalien. Arch. f. Gynäkologie, 81, S. 162—164; 1907.

31) Kobert, R., Über die Beinflussung der peripheren Gefäße durch pharmakologische Agentien. Arch. f. exp. Pathol., 22, S. 77—106; 1886.

32) Kochs, W., Über eine Methode zur Bestimmung der Topographie des Chemismus im tierischen Körper. Arch. f. d. ges. Physiol., 20, S. 68, 69; 1879.

33) Kraus, F. jun., Über Zuckerbildung in der Leber bei Durchblutungsversuchen. Ebenda, 90, S. 630—634; 1902.

34) Kurdinowsky, E. M., Physiologische und pharmakologische Versuche an der isolierten Gebärmutter. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1904, Suppl., S, 332—343.

35) Langendorff, O., Über die angebliche Unfähigkeit des lackfarbenen Blutes, den Herzmuskel zu ernähren. Arch. f. d. ges. Physiol., 93, S. 286—294; 1903.

36) Locke, F. S., Die Wirkung der Metalle des Blutplasmas und verschiedener Zucker auf das isolierte Säugetierherz. Zentralbl. f. Physiol., 14, S. 670—672; 1900.

37) — — The action of dextrose on the isolated mammalian heart. Journ. of physiol., 31. proceed. 19 march 1904.

38) Loebell, C. E., De conditionibus quibus secretiones in glandulis perficiuntur. Diss. inaug. Marburg 1849.

39) Luchsinger, B., Neue Versuche zu einer Lehre von der Schweißsekretion. Arch. f. d. ges. Physiol., 14, S. 370; 1877.

40) Ludwig, C., Neue Versuche über die Beihilfe der Nerven zu der Speichelsekretion. Mitt. der Züricher naturf. Gesellsch. S.A.

41) — — und Alex. Schmidt, Das Verhalten der Gase, welche mit dem Blut durch den reizbaren Säugetiermuskel strömen. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., math.-phys. Kl., 1868, S. 16—28.

42) Minot, C. S., Die Bildung der Kohlensäure innerhalb des ruhenden und erregten Muskels. Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig, 1876, S. 3.

43) Mosso, A., Von einigen neuen Eigenschaften der Gefäßwand. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., math.-phys. Kl., 1874, S. 306—313.

44) Müller, J. J., Über die Atmung in der Lunge. Ebenda, 1869, S. 152—157.

45) Munk, I., Zur Lehre von den sekretorischen und synthetischen Prozessen in der Niere, sowie zur Theorie der Diuretica. Arch. f. pathol. Anat., 107, S. 295—299; 1887.

46) Neubauer, O., und W. Gross, Zur Kenntnis des Tyrosinabbaus in der künstlich durchbluteten Leber. Zeitschr. f. physiol. Chemie, 67, S. 219—229; 1910.

47) Pfaff, F., und M. Vejnx-Tyrode, Über Durchblutung isolierter Nieren und den Einfluß defibrinierten Blutes auf die Sekretion der Nieren. Arch. f. exp. Path., 49, S. 324—341; 1903.

48) Rusch, H., Experimentelle Studien über die Ernährung des Säugetierherzens. Arch. f. d. ges. Physiol., 73, S. 535—554; 1898.

49) Sakusow, s. Skutul.

50) Salvioli, G., Eine neue Methode für die Untersuchung der Funktionen des Dünndarmes. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1880, Suppl., S. 95—112.

51) Schmidt, Alex., Die Atmung innerhalb des Blutes. Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., math.-phys. Kl., 1867, S. 113—120.

52) Schröder, W. von, Über die Bildungsstätte des Harnstoffes. Arch. f. exp. Pathol., 15, S. 377, 378; 1882.

53) Skutul, K., Über Durchströmungsapparate. Arch. f. d. ges. Physiol., 123, S. 249—273; 1908.

54) Stern, Lina, Contribution à l'étude physiologique des contractions de l'uretère. Trav. du laborat. de physiol. de Genéve. 4. 1904.

55) Stolnikow, J., Die Eichung des Blutstromes in der Aorta des Hundes. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1886, S. 10—13.

56) Thomson, H., Über die Beeinflussung der peripheren Gefäße durch pharmakologische Agentien. Inaug.-Diss., Dorpat 1886.

57) Ullmann, E., Experimentelle Nierentransplantation. Wien. klin. Wochenschr., 15, S. 281; 1901.

58) Wyssokowitsch, W., Die Gewinnung der Milchsäure aus der künstlich durchbluteten Leber. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1887, Suppl., S. 98.

Handbuch

der

physiologischen Methodik

Unter Mitwirkung

von

L. Asher, Bern; **A. Bethe,** Strassburg; **Chr. Bohr,** Kopenhagen; **K. Bürker,** Tübingen; **W. Caspari,** Berlin; **J. R. Ewald,** Strassburg; **O. Fischer,** Leipzig; **O. Frank,** München; **M. von Frey,** Würzburg; **S. Garten,** Giessen; **A. Gullstrand,** Upsala; **F. B. Hofmann,** Innsbruck; **R. Magnus,** Utrecht; **L. Michaëlis,** Berlin; **W. Nagel,** Rostock; **C. Oppenheimer,** Berlin; **I. P. Pawlow,** St. Petersburg; **J. Poirot,** Helsingfors; **A. Pütter,** Göttingen; **M. Rubner,** Berlin; **K. Schäfer,** Berlin; **F. Schenck,** Marburg; **J. Steiner,** Köln; **W. Trendelenburg,** Freiburg i. B.; **W. Wirth,** Leipzig; **N. Zuntz,** Berlin und **H. Zwaardemaker,** Utrecht

herausgegeben

von

Robert Tigerstedt

Erster Band

4. Abteilung

Allgemeine Methodik II

Mit 30 Figuren

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1911

☛ Diese Abteilung enthält am Schluß Titelbogen und Inhaltsverzeichnis **zum 1. Bande.**



